

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Institut dopravy

Model nákladů životního cyklu pro kolejové vozidlo

Life Cycle Costs Model for Rolling Stock

Student: Bc. Pavel Vosáhlo

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jaromír Široký, Ph.D.

Ostrava 2014

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Pavel Vosáhlo**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301T003 Dopravní technika a technologie
Specializace: 10 Kolejová doprava
Téma: **Model nákladů životního cyklu pro kolejové vozidlo**
Life Cycle Costs Model for Rolling Stock

Zásady pro vypracování:

1. Charakteristika životního cyklu a nákladů životního cyklu pro kolejová vozidla
2. Analýza vybraných modelů nákladů životního cyklu kolejových vozidel.
3. Návrh struktury a funkcionalit modelu LCC
4. Ověření funkčnosti navrženého modelu LCC a testování SW řešení
5. Provozně technické zhodnocení návrhu

Seznam doporučené odborné literatury:

ČSN EN 60300-3-3 (01 0690) Management spolehlivosti – Část 3-3: Pokyny k použití – Analýza nákladů životního cyklu. 2005.
ČSN IEC 50(191) (01 0102) Mezinárodní elektrotechnický slovník – Kapitola 191: Spolehlivost' a akost' služieb. 1993.
ČSN EN 61703 (01 0607) Matematické výrazy pro ukazatele bezporuchovosti, pohotovosti, udržovatelnosti a zajištěnosti údržby. 2002.
UNIFE LCC Group: Guidelines For Life Cycle Costs. Volume I. 1997.[on line] dostupnost: www.unife.org.
UNIFE LCC Group: Guidelines For Life Cycle Costs. Volume II. 2001.[on line] dostupnost: www.unife.org.
Podklady výrobce kolejových vozidel

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jaromír Široký, Ph.D.**

Datum zadání: 13.12.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014



doc. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Poděkování

Děkuji vedoucímu mé diplomové práce, panu Ing. Jaromírovi Šírokému, Ph.D. za jeho ochotu, trpělivost a odbornou pomoc při psaní této práce, panu doc. Ing. Janu Famfulíkovi, Ph.D. za připomínky a konzultace. Dále bych rád poděkoval zaměstnancům firmy CZ LOKO a.s. za jejich ochotu, rady a poskytnutá data. Také bych chtěl poděkovat své rodině a známým za poskytnutí zázemí, podporu a pomoc při studiu.

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci, včetně příloh, vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: 19.5.2014

.....
Kozlba

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že se s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mě požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě19.5.2014.....

..........

podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Pavel Vosáhlo

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Frošova 1249

517 41, Kostelec nad Orlicí

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

VOSÁHLO, P. *Model nákladů životního cyklu pro kolejové vozidlo: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2014, 64 s. Vedoucí práce: Ing. Jaromír Šíroky, Ph.D.

Diplomová práce se zabývá modelem nákladů životního cyklu pro kolejové vozidlo. V úvodní části je charakterizován životní cyklus a náklady životního cyklu. Poté je popsán model a proces analýzy nákladů životního cyklu. Dále pokračuje teoretická část, kde jsou popsány údržbové systémy. V dalším bodě jsou analyzovány vybrané modely, z nichž vznikl nový model nákladů životního cyklu pro kolejové vozidlo. Tento model je v práci popsán, co se týče struktury a funkcionality. Poté je ověřena jeho funkčnost s fiktivními hodnotami a dále je testován na konkrétním kolejovém vozidle. V závěru práce bylo provedeno provozně technické zhodnocení návrhu.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

VOSÁHLO, P. *Life Cycle Costs Model for Rolling Stock: Master Thesis*. Ostrava: VŠB – University of Technology Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Transport, 2014, 64 p. Thesis head : Ing. Jaromír Šíroky, Ph.D.

The Master Thesis deals with model of life cycle costs for rolling stock. In the introduction life cycle and its costs are characterized. There follow description of model and process of life cycle costs analysis. Further theoretical part describes systems of maintenance. Next item analyses selected models of which new model of life cycle costs for rolling stock originated. The model is described with regard to the structure and functionality. Then its functionality with use of fictive values is checked and it is also tested on a specific locomotive. Finally the operational and technical assessment was made.

Obsah

1. Úvod	11
2. Charakteristika životního cyklu a nákladů životního cyklu pro kolejová vozidla	12
2.1. Náklady životního cyklu	12
2.2. Etapy životního cyklu	13
2.2.1. Etapa koncepce a stanovení požadavků	13
2.2.2. Etapa návrhu a vývoje	13
2.2.3. Etapa výroby	13
2.2.4. Etapa instalace	14
2.2.5. Etapa likvidace	14
2.3. Model LCC výrobku	15
2.3.1. LCC	15
2.3.2. Rozčlenění LCC na nákladové položky	16
2.3.3. Odhad nákladů	17
2.3.4. Analýza citlivosti	17
2.3.5. Dopad zlevňování, inflace a zdanění na LCC	18
2.3.6. Proces analýzy LCC	18
2.4. Proces analýzy nákladů životního cyklu	18
2.4.1. Obecně	18
2.4.2. Plán analýzy LCC	19
2.4.3. Použití modelu LCC	19
2.4.4. Přezkoumání výsledků analýzy LCC	20
2.5. Spolehlivost a LCC	21
2.5.1. Náklady související se spolehlivostí vozidla	21
2.5.2. Vyvolané náklady	22
2.6. Rizika, nejistota a problémy s daty	22
2.7. Náklady životního cyklu a životní prostředí	23
3. Údržbové systémy	24

3.1.	Základní pojmy	24
3.2.	Základní typy údržbových systémů	25
3.3.	Údržbový systém po poruše	25
3.4.	Údržbový systém se zaručenou bezporuchovostí	26
3.5.	Údržbový systém po prohlídce.....	28
4.	Analýza vybraných modelů LCC	29
4.1.	SW od společnosti Siemens	29
4.1.1.	Global data.....	29
4.1.2.	PM.....	30
4.1.3.	CM	30
4.1.4.	SP	32
4.2.	SW od společnosti UNIFE	32
4.2.1.	Global data.....	33
4.2.2.	Equipment data, CM.....	33
4.2.3.	PM.....	34
4.2.4.	Maintenance equipment.....	34
4.2.5.	Miscellaneous costs	35
4.3.	Porovnání obou SW	35
5.	Návrh struktury a funkcionalit modelu LCC.....	36
5.1.	Parametry systému	36
5.2.	Díly.....	37
5.3.	PM.....	38
5.4.	CM	38
5.5.	Hodnocení	39
5.6.	Zhodnocení navrženého SW	39
6.	Ověření funkčnosti navrženého modelu LCC a testování SW řešení	40
6.1.	Ověření funkčnosti navrženého modelu.....	40
6.1.1.	Preventivní údržba	40
6.1.1.1.	Tabelární výpočty:	40

6.1.1.2.	Výsledky z navrženého SW	45
6.1.1.3.	Porovnání výsledků.....	47
6.1.2.	Údržba po poruše	47
6.1.2.1.	Tabelární výpočty	47
6.1.2.2.	Výsledky z navrženého SW	49
6.1.2.3.	Porovnání výsledků.....	50
6.2.	Testování SW na konkrétním případě.....	50
6.2.1.	Charakteristika lokomotivy řady 753.6	50
6.2.2.	LCC pro trakční motor lokomotivy 753.6	51
6.2.2.1.	Charakteristika trakčního motoru TDM 5003V1.....	51
6.2.2.2.	Obecné údaje.....	52
6.2.2.3.	Preventivní údržba trakčního motoru	52
6.2.2.4.	údržba po poruše trakčního motoru	54
6.2.2.5.	Výsledky preventivní údržby a údržby po poruše	55
6.2.3.	LCC pro dvojkolí lokomotivy 753.6	57
6.2.3.1.	Charakteristika dvojkolí.....	57
6.2.3.2.	Obecné údaje.....	57
6.2.3.3.	Preventivní údržba dvojkolí.....	57
6.2.3.4.	Údržba po poruše dvojkolí.....	58
6.2.3.5.	Výsledky preventivní údržby a údržby po poruše u dvojkolí	59
7.	Provozně technické zhodnocení návrhu	61
	Použitá literatura.....	62
	Seznam obrázků.....	63
	Seznam tabulek.....	64

Seznam použitých zkratek

<i>Zkratka</i>	<i>Název</i>
CM	corrective maintenance (údržba po poruše)
FIT	počet poruch na 10^9 hodin provozu
FPMK	počet poruch na 10^6 km
LCC	life cycle costing (náklady životního cyklu)
MTTR	střední doba opravy
NÚ	nápravná údržba
PM	preventive maintenance (preventivní údržba)
PÚ	preventivní údržba
TM	trakční motor
SP	spare parts (náhradní díly)
SW	software

1. Úvod

V dnešní době se kladou velké požadavky na to, aby byly dané produkty bezporuchové a svou funkci konaly bezpečně a byly bez dopadu na životní prostředí. Při rozhodování o nákupu výrobku nejsou rozhodující pouze počáteční náklady, ale též provozní náklady, náklady na preventivní údržbu, i údržbu po poruše a náklady na jeho likvidaci. Výrobce musí navrhnout takový výrobek, který bude bezporuchový a přitom konkurence schopný, s co možná nejnižšími náklady, kterých dosáhne pomocí optimalizace pořizovacích nákladů, vlastnických nákladů a nákladů na likvidaci. Ideálně by tento proces měl vzniknout od samého začátku výrobku a rozvíjet se má s respektováním všech nákladů, které se vynaloží za celou jeho životnost.

Cílem mé diplomové práce je charakterizovat náklady životního cyklu, analyzovat vybrané modely nákladů životního cyklu, ověřit funkčnost navrženého modelu. Na základě analýz vybraných modelů vznikl na institutu dopravy model LCC, který je v diplomové práci popsán, co se týče struktury a funkcionality, a dále je ověřena funkčnost modelu za pomoci fiktivních hodnot i konkrétního příkladu. V závěru práce je provedeno provozně technické zhodnocení návrhu.

2. Charakteristika životního cyklu a nákladů životního cyklu pro kolejová vozidla

2.1. Náklady životního cyklu

Náklady životního cyklu neboli LCC (life cycle costing) jsou celkové náklady na produkt v celém životním cyklu.

$$\text{LCC} = \text{pořizovací náklady} + \text{vlastnické náklady} [6]$$

Pořizovací náklady jsou náklady na daný produkt, jsou předem dané a mohou být snadno vyhodnoceny před rozhodnutím o nákupu produktu a mohou, ale nemusí do nich být zahrnuty náklady na instalaci. Ve vlastnických nákladech jsou zahrnuty náklady na provoz a údržbu a mohou do nich být zahrnuty náklady na instalaci. Ve většině případů jsou vlastnické náklady vyšší než pořizovací a proto tvoří hlavní složku nákladů LCC. Oproti pořizovacím nákladům, kde jsou náklady dané, u vlastnických nákladů jde velmi špatně náklady předpovědět. [1,6]



Obr. 1 – Náklady životního cyklu [6]

2.2. Etapy životního cyklu

Životní cyklus je časový interval od stanovení koncepce produktu po jeho likvidaci. Životní cyklus má šest hlavních etap:

- a) Etapa koncepce a stanovení požadavků
- b) Etapa návrhu a vývoje
- c) Etapa výroby
- d) Etapa instalace
- e) Etapa provozu a údržby
- f) Etapa likvidace [1,6]

2.2.1. Etapa koncepce a stanovení požadavků

Vyskytují se zde základní požadavky a nároky na vozidlo. Hlavním úkolem je stanovení nároků na spolehlivost, sestavení programu spolehlivosti a celkové budoucí zajištění údržby. Rozhodnutí udělaná v etapě koncepce a stanovení požadavků mají veliký vliv na výrobek a LCC. Do této etapy se zahrnují náklady na průzkum trhu, management projektu, analýzu koncepce, návrhu produktu a přípravu specifikace požadavků na produkt. [1,6]

2.2.2. Etapa návrhu a vývoje

Vytváří se zde veškerá výrobní dokumentace vozidla. Patří sem výroba prototypu a zkoušky jednotlivých dílů a celků. Do této etapy se zahrnují náklady na management projektu, technické práce při návrhu, práce okolo zajištění udržitelnosti, bezporuchovosti a ochrany proti vlivům prostředí, návrhovou dokumentaci, výrobu prototypu, vývoj softwaru, zkoušky a hodnocení, inženýrství a plánování vyrobiteľnosti, volba prodejce, prokazování a validace a management jakosti. [1,6]

2.2.3. Etapa výroby

V etapě výroby je nejdůležitější dodržení parametrů kvality v souladu s dokumentací. Do této etapy se zahrnují náklady na:

- jednorázové činnosti – průmyslové inženýrství, analýza provozních operací, konstrukce vybavení, vybavení nástroji zařízeními na výrobu a zkoušení, zařízení speciální podpůrné a zkušební, náhradní díly do začátku a soupravy pro opravy, zácvik, dokumentace, software, kvalifikační zkoušky
- opakované činnosti – management výroby a inženýrství, údržba vybavení, zhotovení, kontrola a řízení jakosti, montáž, instalace a výstupní kontrola, balení, skladování, expedice a přeprava, průběžné školení a výcvik [1,6]

2.2.4. Etapa instalace

Uvádí vozidlo do provozu, provádí se zde zkoušky vozidla a odstraňují se závady mající počátek ve výrobě. Dále jsou zde údržby a opravy, školení personálů, atd. Tato etapa tvoří velkou část LCC. Zahrnují se zde náklady na:

- provoz: náklady na pracovní síly a jejich počáteční výcvik, vybavení a stroje, náhradní díly do začátku, spotřební materiál, energie
- preventivní údržbu: náklady na zkušební zařízení a nástroje, náhradní díly do začátku, spotřební materiál, na pracovní síly a jejich počáteční výcvik, dokumentace, náhradní díly
- náklady na údržbu po poruše: náklady na zkušební zařízení a nástroje; náhradní díly do začátku, spotřební materiál, náklady na pracovní síly a jejich počáteční výcvik; dokumentace; náhradní díly [1,6]

2.2.5. Etapa likvidace

V této etapě je vozidlo vyřazeno z provozu a zlikvidováno. Do této etapy se zahrnují náklady na:

- odstavení produktu, ukončení provozu, rozebrání a odklizení, recyklování nebo bezpečná likvidace [1,6]

2.3. Model LCC výrobku

2.3.1. LCC

LLC je model, který zjednodušeně znázorňuje skutečnost. Odvozené významné rysy a hlediska produktu převádím na vztahy při odhadování nákladů. Realistický model by měl mít:

- analyzovaný produkt se znaky jako cílového prostředí užívání, návrh údržby, zajištěnost údržby, režimy provozu a omezení
- komplexnost, obsáhlé a zdůrazněné všechny činitele v souvislosti s LCC
- jednoduchost, snadno pochopitelný, použitelný při rozhodování, měl by mít možnost aktualizací a modifikací
- návrh, který umožní vyhodnocení specifické položky LCC bez závislosti na jiných položkách

Struktura modelu je v podstatě účetní s obsahem matematických výrazů pro odhad nákladů, ty jsou spojeny se všemi nákladovými položkami, které tvoří LCC. Modely LCC mají určitou pružnost a použití. Aby mohl být model použit, musím znát obsah a podmínky, tím zajistím přiměřenost použití modelu. Musím zjistit rozsah nezbytných informací a výsledky, které očekávám při použití modelu, až poté můžu zvolit vhodný model. Je potřeba znát všechny podrobnosti modelu, abych mohl přezkoumat a určit použitelnost empirických vztahů, nákladových faktorů, položek a dalších proměnných a konstant. Musím prověřit jeho vhodné použití pro uvažované studium analýzy LCC a posoudit do jakého rozsahu model vykazuje realistické výsledky. Do modelu se také začleňují techniky, které umožňují zacházení s nákladovými položkami.

Do modelu se zahrnuje:

- struktura rozčlenění nákladů (jsou náklady, které vynaložím v hlavních etapách LCC)

- struktura rozčlenění produktu/práce (je složena z důkladného rozčlenění hardwaru, služeb a dat, kde jsou hlavní úkoly identifikovány)
- volba kategorií nákladů
- volba nákladových položek
- odhad nákladů
- prezentace výsledků

Je-li to možné, zahrnuje se také:

- environmentální a bezpečnostní hlediska
- nejistoty a rizika
- citlivostní analýzy k identifikaci stěžejních nákladových položek [1]

2.3.2. Rozčlenění LCC na nákladové položky

Celkové náklady LCC se skládají z nákladových položek, při rozčlenění na tyto položky je možné udělat odhad celkových nákladů životního cyklu. Tyto položky dále identifikuji tak, abych je mohl stanovit a odhadnout. Nákladová položka spojuje kategorie nákladů a strukturu rozčlenění produktu/práce. Složitost produktu a kategorie nákladů jsou dány volbou nákladových položek. Při zjišťování nákladových položek rozčlením produkt na nižší stupně rozčlenění, kategorie nákladů a etapy životního cyklu. Tento systematický a uspořádaný přístup znázorňujeme v trojrozměrné matici, do které zahrnuji:

- struktura rozčlenění produktu/práce (nižší stupeň rozčlenění)
- etapy životního cyklu (doby výkonu práce)
- kategorie nákladů (náklady na materiál, práci, energie, režie, přeprava)

Náklady LCC mohou být rozvrženy na opakované a jednorázové, a součet těchto nákladů se rovná LCC. Položky LCC lze také odhadnout v podobě fixních a

variabilních nákladů. Musím shromažďovat informace o nákladech podle struktury rozčlenění LCC, které mi usnadní řízení a rozhodování. [1]

2.3.3. Odhad nákladů

Lze použít jednu nebo více metod.

Příklady metod použitelných pro odhad nákladů:

a) technická metoda

Součástky produktu se vyšetřují jedna po druhé, tím se odhadnou jednotlivé nákladové položky. Pro usnadnění se používají firemní technické a výrobní odhady. Starší odhady se aktualizují pro současnost.

b) metoda na základě analogie

Odhad na základě zkušenosti s podobným produktem nebo technologií práce. Používají se historické údaje, které nezahrnují zvyšování cen nebo technologický pokrok. Tato metoda je nejjednodušší, časově nenáročná a snadno použitelná u součástí produktů, které jsou známé.

c) parametrická metoda

U této metody se používají parametry a proměnné. Podle oblastí se může používat odlišně. Vztahy jsou většinou vyjádřeny pomocí rovnic, kde se například pracovní hodiny převedou na náklady. [1]

2.3.4. Analýza citlivosti

Provádí se u položek, které významně přispívají k nákladům. Dopad na celkové náklady LCC stanoví proměnlivá data. LCC model by měl být vypracován tak, aby se změna obecného parametru automaticky opakovala sama při každém použití, tím je tato analýza usnadněna. [1]

2.3.5. Dopad zlevňování, inflace a zdanění na LCC

Jelikož se skutečná hodnota peněz stále mění, je nutné brát v úvahu faktory, jako jsou náklady z ušlé příležitosti, inflace a zdanění. Tyto faktory komplikují proces analýzy LCC. [1]

2.3.6. Proces analýzy LCC

Do analýzy LCC také zahrnujeme zjišťování a vyhodnocování nákladů, které jsou spojeny s pořízením, vlastnictvím a likvidací produktu. Všechny analýzy LCC by se měli provádět strukturovaně a osvědčeným způsobem, tím dosáhnou užitečných a správných výsledků. Používají se tyto kroky:

- plán analýzy LCC
- volba nebo vypracování modelu LCC
- použití modelu LCC
- dokumentace analýzy
- přezkoumání výsledků analýzy
- aktualizace analýzy [1]

2.4. Proces analýzy nákladů životního cyklu

2.4.1. Obecně

Do analýzy LCC se zahrnuje zjišťování a vyhodnocování nákladů spojených s pořízením, vlastnictvím a likvidací výrobku během jeho životního cyklu. Analýzu provádím strukturovaným a dokumentovaným způsobem, abych docílil užitečných výsledků, proto použiji následující kroky:

- a) plán se stanovenými cíli analýzy LCC
- b) volba nebo vypracování modelu LCC
- c) použití modelu LCC
- d) dokumentace analýzy LCC

- e) kontrola výsledků analýzy LCC
- f) aktualizace analýzy [1]

2.4.2. Plán analýzy LCC

Analýza začíná vypracováním plánu zaměřeného na rozsah a účel platnosti analýzy. Plán se má zaměřit na následující prvky:

- a) stanovují se cíle analýzy ve formě výstupů, které má analýza poskytnout. Typické cíle jsou například:
 - stanovení nákladů životního cyklu pro výrobek jako podklad pro plánování, vypracování smluv, atd.
 - vyhodnocení dopadu alternativních směrů opotřebení na náklady životního cyklu výrobku
 - zjištění nejnákladnějších položek LCC, aby se na ně zaměřilo při určitých etapách
- b) určí se rozsah platnosti analýzy ve formě studovaného výrobku, období daných etap životního cyklu, provozního prostředí, popis zajištění údržby
- c) musí se zjistit základní požadavky, omezení a předpoklady, které mohou ovlivnit rozsah reálných možností, které se budou vyhodnocovat.
- d) zjistí se jiné směry opatření, které se budou hodnotit
- e) odhadne se počet požadovaných zdrojů a časový plán informování o analýze formou zpráv. Dělá se to proto, aby byly včas výsledky analýzy dostupné jako podklady při rozhodování [1]

2.4.3. Použití modelu LCC

Analýza LCC by měla obsahovat tyto body:

- a) seženou se data veškerých nákladových položek v modelu nákladů životního cyklu pro všechny volitelné možnosti, subsystémy a kombinace zajištěných volitelných možností produktu.

- b) udělá se analýza nákladů životního cyklu u provozních scénářů daných v daném plánu analýzy.
- c) zpracuje se zpráva o analýzách s ohledem na vyhledání optimálního scénáře zajištění.
- d) u modelu LCC se prozkoumají vstupy a výstupy, aby se stanovily položky jednotlivých nákladů, které mají největší dopad na analýzy.
- e) kvantifikují se jakékoliv rozdíly pohotovosti, výkonnosti nebo jiných omezení výrobku mezi studovanými libovolnými možnostmi, zdali se dané rozdíly neodrážejí ve výstupech modelu LCC.
- f) výstupy modelu LCC se řadí do kategorií podle libovolných hledisek seskupování, například jako náklady jednorázové a opakované, atd.
- g) udělají se analýzy citlivosti, z důvodů vyšetření dopadu předpokladů a nejistot nákladových položek na výsledky modelu nákladů životního cyklu. Největší důraz se klade na nákladové položky, které tvoří největší část celkových nákladů.
- h) překontrolují se výstupy LCC ve vztahu k cílům určeným v plánu analýzy pro ujištění, že byly splněny všechny cíle a poskytnuto dostatečné množství informací, které budou podkladem pro požadované rozhodnutí. Při nesplnění cílů se může požadovat modifikace modelu LCC nebo se může požadovat dodatečné vyhodnocení. [1]

2.4.4. Přezkoumání výsledků analýzy LCC

Pro zkontrolování integrity a správnosti výsledků se může žádat přezkoumání procesu analýzy. Zaměřím se na tyto prvky:

- a) přezkoumání modelu pro ujištění, že jsou přiměřené účelů analýzy.
- b) přezkoumání cílů a rozsahu platnosti analýzy, pro kontrolu, zda byly vhodně vyjádřeny a interpretovány.
- c) přezkoumání užití modelu, pro zkontrolování, zda byly jeho vstupy přesně zavedeny a model byl použit správně. Dále zkontrolovat výsledky, zda byly správně vyhodnoceny a rozebrány a že bylo dosaženo cílů analýzy.

- d) přezkoumání veškerých předpokladů učiněných během analýzy pro zjištění, zda byly předpoklady rozumné a že byly dokumentovány. [1]

2.5. Spolehlivost a LCC

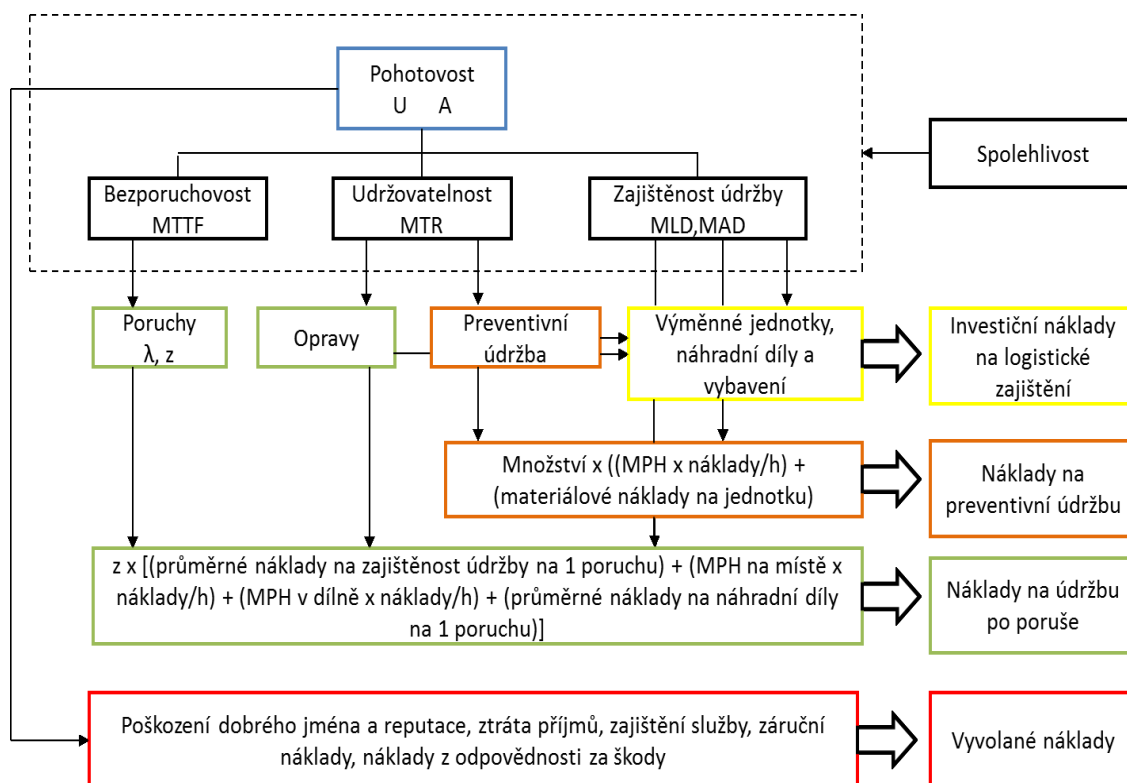
Spolehlivost výrobku je termín popisující pohotovost produktu a faktorů, které ji ovlivňují, jako je bezporuchovost, udržovatelnost a zajištěnost údržby. Všechny tyto vlastnosti mohou výrazně ovlivnit LCC. Vyšší pořizovací náklady mohou vést ke zlepšení bezporuchovosti nebo udržovatelnosti a to vše povede ke snížení vlastnických nákladů.

Proces návrhu a vyhodnocení LCC, jehož nedílnou částí jsou hlediska spolehlivosti, které mají být přezkoumány při přípravě specifikací produktu a vyhodnocovat by se měli během celé etapy návrhu, z důvodu optimalizace návrhu produktu a LCC.[1,6]

2.5.1. Náklady související se spolehlivostí vozidla

Náklady týkající se jednotlivých prvků spolehlivosti mohou (dle možností) zahrnovat:

- náklady na preventivní údržbu
- náklady na obnovu systému včetně nákladů na údržbu po poruše
- vyvolané náklady [1]



Obr. 2 – Náklady související se spolehlivostí v etapě provozu a údržby [1]

2.5.2. Vyvolané náklady

- náklady záruční – záruky nás chrání před náklady, které by nastaly při odstraňování poruch výrobku, hlavně při počátečních etapách výrobku.
- náklady z odpovědnosti za škody způsobené vozidlem – dodavatel může nést následky za škody způsobené vozidlem v případě, že neplnil své zákonné povinnosti.
- náklady na zajištění alternativní služby
- náklady způsobené ztrátou příjmů [1]

2.6. Rizika, nejistota a problémy s daty

LCC – náklady životního cyklu vozidla je kvantitativní ukazatel odrážející odhad nákladů na pořízení a vlastnictví zařízení v celém jeho životním cyklu. Výsledky analýzy nákladů životního cyklu závisí na dostupnosti a využití příslušných dat a

informací, na předpokladech (o zařízení a budoucnosti) učiněných v modelu LCC a na vstupních údajích použitých v analýze.

Je však nutné říci, že nedostatek informací a dat, použití optimistických odhadů (např. pro úspěšný prodej výrobku, respektive ospravedlnění nákupu zařízení) a nesprávná metodika stanovení některých nákladů přispívá k nejistotě a riziku. Položky, jako jsou např. náklady na předpověděnou inflaci, na pracovní síly, materiál a režii vynakládané po dlouhou dobu (celá doba života vozidla), mohou být též příčinou značné nejistoty výsledků analýzy LCC.

Při provádění analýzy LCC mnohdy některé vstupní údaje neznám vůbec a některé zase výrobci různých komponentů nejsou ochotni výrobci vozidla sdělit, neboť je pokládají za citlivé. V případě, kdy nemám k dispozici žádné informace a data, lze využít expertní odhad, apod.

Při provádění analýzy LCC nepoužívám pouze expertní odhad, data od subdodavatelů, ale i údaje ze statistických sledování (např. data získána ze servisu v době záruky). Nejistota a riziko se stupňují vlivem skutečnosti, že některé činitele nelze kvantitativně vyjádřit v podobě nákladů. Aby bylo možné s těmito činiteli počítat, mají se použít hodnotové posudky založené na zkušenosti. Takové hodnotové posudky jsou obecně kvalitativní. Rozhodnutí učiněná na základě nákladů životního cyklu zařízení často v praxi zahrnují kombinaci kvantitativních i kvalitativních úvah. Kvantitativní výsledky jsou základním východiskem, zatímco kvalitativní jsou podpůrné pro další doporučení a rozhodování. [1]

2.7. Náklady životního cyklu a životní prostředí

V této době se klade velký důraz na životní prostředí a na to, jaký dopad na něj mají výrobky a služby. Rozhodnutí ohledně koncepce a návrhu, výrobě, používání výrobku, atd. mohou mít dopad na cenu, vlastnické náklady a náklady na likvidaci.

Zda-li jsou do studií LCC zahrnuty náklady na činnosti, které se musí provést, aby byly splněny předpisy o životním prostředí, poskytne to potřebná data do procesu rozhodování návrhu, vývoji a používání výrobku.

Velkou pozornost musí dodavatelé a uživatelé věnovat následkům výroby, provozu, údržby a logistických činností na životní prostředí. [1]

3. Údržbové systémy

3.1. Základní pojmy

- údržba – je soubor všech administrativních a technických činností, včetně činností dozoru, sloužící k zajištění udržení ve stavu nebo navrácení objektu do stavu, v němž může plnit požadovanou funkci
- údržbový zásah – je posloupnost základních údržbářských úkonů prováděných pro daný účel, jako je například mazání, diagnostika stavu, lokalizace porouchané součásti, apod.
- preventivní údržba – slouží ke snížení pravděpodobnosti poruchy nebo degradace fungování objektu a je prováděna v předem stanovených intervalech nebo podle předepsaných kritérií
- základní cyklus preventivní údržby – je nejmenší doba provozu objektu nebo opakující se interval, během kterého se provádí určité posloupnosti prací, v souladu s požadavky normativně-technické dokumentace, předepsané druhy preventivní údržby
- údržba po poruše – po zjištění poruchového stavu, je údržba zaměřena na uvedení objektu do stavu, v němž může plnit požadovanou funkci.
- údržbová soustava – jedná se o soubor prostředků, dokumentace pro údržbu a pracovníků, nezbytně nutných pro údržbu a obnovu provozuschopnosti objektů patřících do této soustavy
- soustava – je materiálně-technické zabezpečení, které zabezpečuje schopnost údržbové organizace poskytovat potřebné zdroje pro provádění údržby při daném systému údržby a za daných podmínek
- oprava – je technologický postup či soubor úkonů, při nichž se na objektu provádí ruční práce [2,6]

3.2. Základní typy údržbových systémů

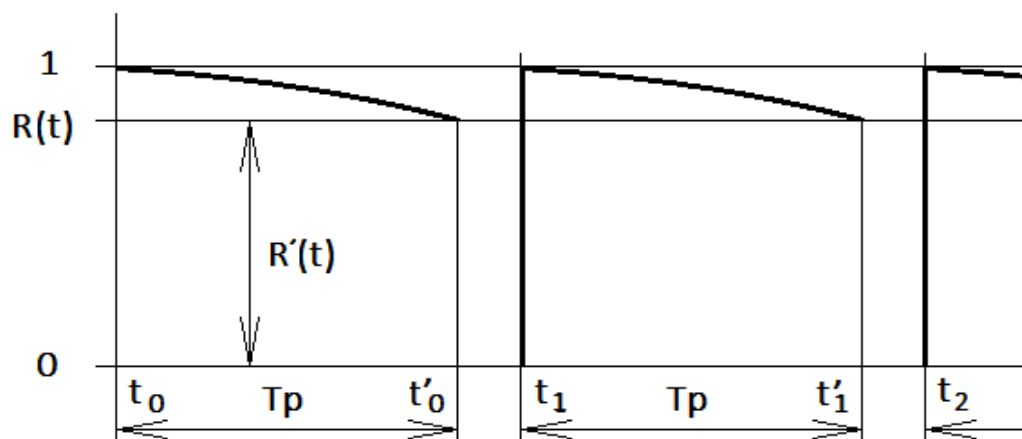
Efektivnost údržby hodně závisí na volbě vhodného údržbového systému. Při volbě údržbového systému musíme důkladně posoudit všechna kritéria. Například charakter výrobku, důsledek vzniku poruch, zajištění údržby, atd.

Rozdělení údržbových systémů z hlediska údržby prvků vozidla:

- individuální – jednotlivé prvky se udržují, když je to z hlediska spolehlivosti nejvýhodnější. Díky čemuž docílím maximální efektivity. Nevýhodou je časová náročnost, pokud je takovýchto prvků ve výrobku více, tak se zvyšují prostoje, protože tato údržba neumožňuje kumulaci prací. Využití tohoto systému je u velmi drahých prvků.
- skupinový – umožňuje efektivně seskupit plánované práce, které se provádějí na více prvcích současně. Nutností je vypracování přehledu jednotlivých prací ve všech skupinách, nejčastěji za použití analýzy. Doba prostoj vozidla v údržbě se seskupením sníží, ale zároveň se sníží pracnost přípravy k provedení údržby. Tento systém se hodně využívá u silničních a železničních vozidel.
- komplexní – všechny prvky se udržují současně a tím se minimalizuje prostoj v údržbě. Tento údržbový systém je vhodný pro rozsáhlé výrobní technologie. [6]

3.3. Údržbový systém po poruše

Jedná se o nejstarší údržbový systém (obr. 3). Údržba se neprovádí preventivně, je prováděna až po vzniku poruchy prvku. Porucha přichází neočekávaně a doby do poruchy prvku jsou náhodnou veličinou. Proto porucha prvku nesmí ohrozit bezpečnost, životní prostředí a neměla by způsobit okamžitou bezporuchovost, ani vyvolat vznik poškození ostatních prvků. Aby se snížila doba prostoj v údržbě, měl by být prvek snadno vyměnitelný.



Obr. 3 – údržbový systém po poruše [6]

$R(t)$ – pravděpodobnost bezporuchového stavu

t'_0, t'_1, t'_2 – doba vzniku poruchy, vzniká neprovozuschopný stav

t_0, t_1, t_2 – doba ukončení poruchy, vzniká provozuschopný stav

t'_0, t_1 – doba údržby (obnovy) prvku

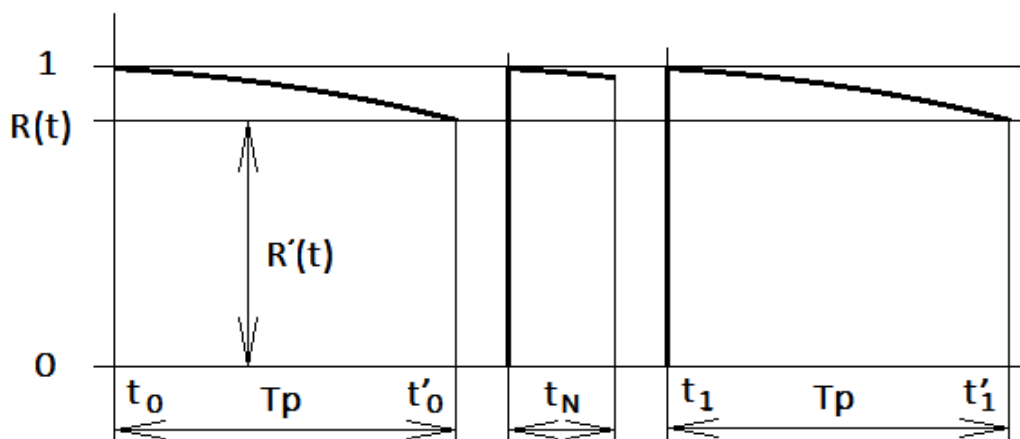
Někdy je údržba po poruše nazývána jako nápravná, protože pouze odstraňuje (napravuje) důsledky opotřebení, které se snaží snižovat a také jim předcházet. Používá se i u prvků, u kterých je obtížné nebo nemožné zjistit jejich opotřebení, např. elektronické součásti, potom je potřeba při zvýšených požadavcích na spolehlivost použít některý ze způsobů zálohování. [6]

3.4. Údržbový systém se zaručenou bezporuchovostí

Tento systém je pravým opakem systému po poruše. Zajišťuje velmi vysokou, předem určenou bezporuchovost prvků nebo celých systémů. Proto se používá u součástí nebo systémů kritických z hlediska bezpečnosti nebo ohrožení životního prostředí, kde se nedá uplatnit zálohování. V předem stanovených intervalech se provádí údržba nebo obnova. Je nutné sledovat a evidovat příslušný výkonový parametr, např. kilometrický proběh vozidla. Zpravidla je prvek po určitém proběhu vyřazen a nahrazen novým, neb je provedena důkladná kontrola s využitím nedestruktivních metod, např. defektoskopie. K zavedení systému je potřeba znát parametry spolehlivosti, vypracovat podrobné technologické postupy, normy spotřeby práce a materiálu s fungující logistickou podporou. Pokud jsou známy parametry rozdělení dob do poruchy, např. W_{2p} rozdělení, je možné určit interval T_p . Tento systém má vysoké

náklady, ale ty jsou většinou mnohonásobně nižší, než ztráty vzniklé následkem poruchy.

Údržbový systém se zaručenou bezporuchovostí je preventivní systém a při vzniku náhlé poruchy jej lze rozdělit na údržbový systém bez ohledu na věk prvků (obr. 4), kdy doba do preventivní údržby T_p není náhlou poruchou v čase t_N ovlivněna.



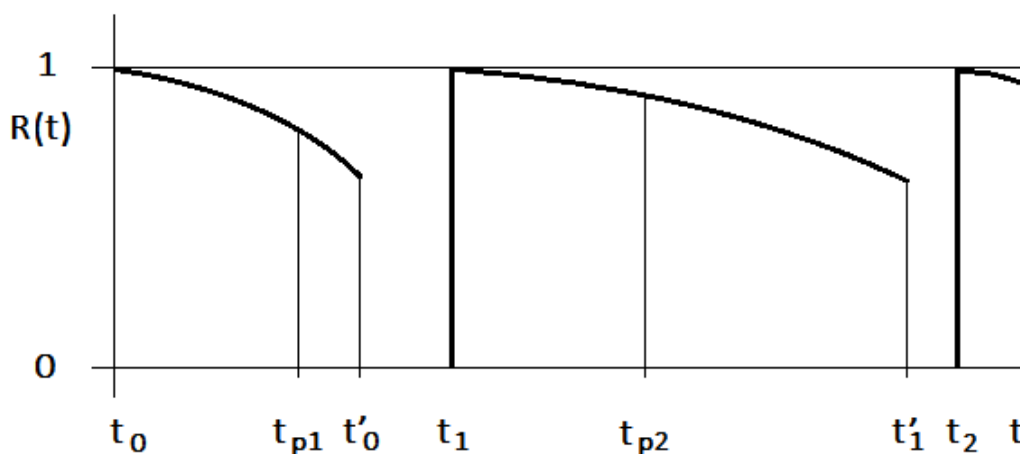
Obr. 4 – údržbový systém se zabezpečenou poruchovostí $R(t)$ [6]

$R(t)$ – pravděpodobnost bezporuchového stavu

t_0, t'_0 – interval preventivní údržby T_p

t'_0, t'_1 – doba preventivní údržby (obnovy) prvku, soustavy

A na systém s ohledem na věk prvků (obr. 5), kdy při náhlé poruše v čase t_N začíná nový interval T_p po jeho obnově. [6]



Obr. 5 – údržbový systém se zabezpečenou poruchovostí $R(t)$, s ohledem na věk prvku

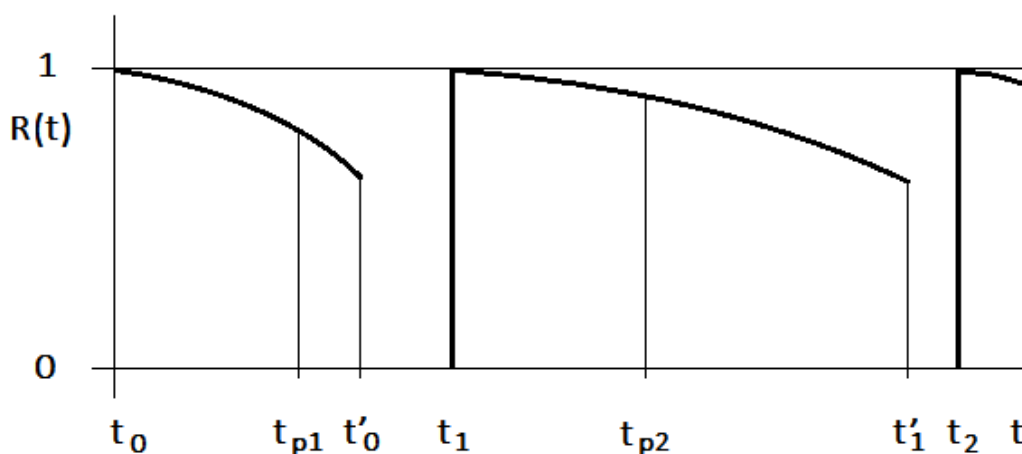
[6]

$R(t)$ – pravděpodobnost bezporuchového stavu
 t_0, t'_0 – interval preventivní údržby T_p
 t_N, t'_0 – okamžik vzniku náhlé poruchy
 t_1, t'_1 – začíná nový interval preventivní údržby T_p

3.5. Údržbový systém po prohlídce

K zjištění technického stavu objektů využívá údržbový systém po prohlídce (inspekci) pravidelných prohlídek, často spojených s diagnostickým testem. Další doba provozu objektu, nutný rozsah údržby a doba jeho trvání je stanovena po získání údajů o velikosti opotřebení (skutečného technického stavu), je sestaven operativní plán údržby. Údržba a opravy je provedena s časovým odstupem za prohlídkou, odstraní se dodatečně zjištěné závady. Tento údržbový systém je pružný, umožňuje reagovat na změnu provozních podmínek, ale přináší snížení bezpečnosti a spolehlivosti.

Z hlediska logistické podpory je výhodný časový odstup realizace údržby. Sestavením operativního plánu údržby je jasné, jaké prvky (součásti) je nutné vyměnit. Vzniká předstih mezi okamžikem spotřeby materiálu před okamžikem vzniku požadavku na materiál, což vede ke snížení nároků na rychlost dodávek. [6]



Obr. 6 – údržbový systém po prohlídce [6]

4. Analýza vybraných modelů LCC

4.1. SW od společnosti Siemens

Jedná se o aplikaci vytvořenou v programu Excel. Skládá se ze sešitu s šesti listy, mezi jednotlivými listy existují propojení. Dále obsahuje skryté listy, kde jsou například vzorce ověřující správné vyplnění jednotlivých polí u listů PM, CM a Spare Parts, atd.

Obsahuje listy:

- Global data – první list reprezentující celková data projektu využitá pro kalkulaci RAM-LCC.
- PM – tento list je používán k záznamům ohledně činností preventivní údržby.
- CM – tento list je používán k záznamům ohledně poruch komponentů a jejich nápravné údržby.
- Spare Parts – seznam náhradních dílů nabízených pro údržbu během životnosti vlaku.
- Results – přehled o systémových výsledcích RAM-LCC a dat spolehlivosti.
- Instruction – instrukce k souboru.

Nejdůležitější listy, které jsou podrobněji popsány: Global data, PM, CM, SP. [7]

4.1.1. Global data

Jedná se o list, kde se vyplňují základní data a údaje.

Obsahují údaje o dodavateli, údaje o zákazníkovi, hodinovou sazbu mechanika, počet ujetých kilometrů za rok (kilometrický proběh za rok), délku životního cyklu, kilometrický proběh za celý životní cyklus, provozní doba vlaku za rok, základní podmínky, konfigurace systému nebo vlaku. [7]

4.1.2. PM

Do tohoto listu se vkládají veškeré data ohledně preventivní údržby. Do řádku vypíšu úkon, který se bude vždy preventivně vykonávat v daném kilometrickém proběhu, a k němu vypíšu další informace.

V listě PM najdu tyto položky na vyplnění skupinový kód, číslo činnosti údržby, kilometrický proběh, provozní čas, cykly, kalendářní čas, upraveno na voze, upraveno mimo vůz, dovednostní třídy, systém, komponent, činnost preventivní údržby, množství komponentů, maximální interval údržby, doporučený počet pracovníků, výrobce náhradního dílu, cena náhradního dílu, množství materiálu, speciální pomůcky, ceny preventivní údržby, komentáře. [7]

4.1.3. CM

Do tohoto listu se vkládají veškerá data ohledně údržby po poruše neboli nápravné údržby. Typickými druhy poruchy jsou např. rozbití, únik kapalin, špatná funkce, atd. Zda-li by komponent selhával několika způsoby, každý druh musí být zaznamenán do zvláštního řádku. Porucha je náhodný jev, kterému se snažíme předejít preventivní údržbou.

V listě se vyplňují tyto položky systém, komponent, typický příklad poruchy, vliv poruchy na systém, činnost nápravné údržby, označení, množství komponentů, celková poruchovost komponentu, pravděpodobnost poruch v závislosti na kategorii a způsob, množství práce na komponentu a druh poruchy, výrobce náhradního dílu, cena náhradního dílu, množství materiálu, speciální pomůcky, ceny preventivní údržby, komentáře.

Jsou zde dané kategorie poruch, které určují poruchovost a vážnost poruchy. Rozdělení kategorií poruch:

- kategorie poruch 1 – porucha ovlivní funkčnost mimo systém/komponent. opad selhání nebo špatné funkce komponentu nebo systému není omezen na fungování systému samého a nelze jej izolovat nebo opravit prostředky dosažitelnými "na palubě", takže základní funkce vozu selhávají nebo musí být z bezpečnostních důvodů okamžitě vyřazeny. Příklad: hnací jednotka je blokována, dveře cestujících nelze uzamknout

- kategorie poruch 2 – totální selhání systému/komponentu. Poškozený komponent nebo systém totálně ztratil funkčnost z důvodu selhání nebo poruchy. Tato ztráta funkčnosti nenarušuje ostatní systémy ani nepředstavuje bezpečnostní riziko. Příklad: poškozené dveře pro cestující, které mohou být zavřené a uzamčené
- kategorie poruch 3 – funkční omezení systému/komponentu. Postižený komponent nebo systém je omezen ve své funkčnosti z důvodu závady. Je možná omezená činnost, tj. se sníženým výkonem, nebo pokud daná funkce není v daném momentu vyžadována. Příklad: pokud se porouchá jeden ze dvou měničů výkonu motoru, další činnost trakčního měniče je možná, i když pouze se sníženou funkcí
- kategorie poruch 4 – porucha systému/komponentu bez omezení funkčnosti. Závady, které nemají vliv na funkčnost systému. Příklady: ventilátor píská nebo v systému trakčního měniče je rychlost otáček měřena pro každý trakční motor jednotlivě. Pokud měření rychlosti otáček jednoho motoru selže, měření trakčního motoru připojeného paralelně bude vyhodnoceno, jako když trakční měnič zůstává plně funkční [7]

System	Component	typical failure mode	Effect of failure on system	Corrective maintenance activity
	hyperlinks to instruction	failure mode		Corrective tas
This row remains empty	because of forming reasons			
Motor	Stator winding	Stator winding damage	failure drive unit	change complete stator
Motor	bearing	bearing single failure	failure drive unit	change bearings (= overhaul)
Motor	bearing total loss	Total write off due to bearing damage bearing	failure drive unit	Change motor
Motor	speed sensor	failure speed sensor	failure drive unit	change
Motor	Temperature sensor	failure Temperature sensor	failure drive unit	change harness
gear unit	bearing	bearing single failure	failure drive unit	change bearings (= overhaul gear unit)
gear unit	bearing total loss	bearing damage with the consequence of total damage	failure drive unit	change wheelset

Obr. 7 – ukázka z listu CM v aplikaci Siemens[7]

4.1.4. SP

Seznam náhradních dílů potřebných pro preventivní údržbu i údržbu po poruše během životnosti vlaku.

V tomto listě je uvedeno číslo náhradního dílu, výrobce náhradního dílu, cena náhradních dílů, dodací lhůta, požadavky na skladování, popřípadě zda se nejedná o nebezpečnou látku, která by vyžadovala specifické podmínky pro skladování, atd. [7]

4.2. SW od společnosti UNIFE

Jedná se o aplikaci vytvořenou v program Excel. Skládá z jednoho souboru a několika pracovních listů. Mezi některými listy existují propojení. Dále obsahuje skryté listy, kde jsou například zprávy pro kontrolu chyb, historie revizí tohoto software, atd.

Obsahuje tyto hlavní listy:

- Coversheet – úvodní strana

- Project – obsahuje název projektu, základní údaje o zákazníkovi, kdo projekt zpracovává a použitou měnu
- Revision – list revizí. K vyplnění a uchování dat a obsahu revize
- Global data – obsahuje seznam základních a globálních parametrů použitých v projektu
- Equipment data, CM – toto je hlavní stránka dat LCC data a kalkulací nákladů nápravné údržby, včetně struktury komponentů a jejich nápravné údržby
- PM – tento list se zabývá preventivní údržbou
- Maintenance equipment – seznam nástrojů potřebných pro údržbu během životnosti vozidla
- Misc. costs – různé náklady, včetně všech částí celkového železničního systému (školení, stavební práce, atd.) a všech ostatních věcí nezahrnutých na dalších listech.
- LCC results – shrnutí všech nákladů a cen
- Error list – seznam chyb odhalených chybovou kontrolou
- Navigation – list s tlačítky pro snadnou navigaci mezi pracovními oblastmi
- Instructions – instrukce k aplikaci

Nejdůležitější listy, které jsou podrobněji popsány: Global data, Equipment data, CM, PM, Maintenance equipment, Miscellaneous costs. [3,4]

4.2.1. Global data

Do toho listu se vyplňují základní vstupní data o vozidle, bez těchto dat bych nebyl schopen LCC vypočítat.

Tento list obsahuje položky na vyplnění jako hodinovou sazbu pracovníka, počet vozidel, roční kilometrický proběh, inflace, délka životního cyklu, kilometrický proběh za životní cyklus, trakční díla systému ročně, popis vozidel, kategorie dovedností, kategorie selhání, intervaly preventivní údržby. [3,4]

4.2.2. Equipment data, CM

Jedná se o list, kde se vyplňují údaje o údržbě po poruše, do jednoho řádku se vždy vypisuje jeden druh poruchy. Dále zde jsou i celkové náklady na preventivní údržbu.

V listě Equipment data, CM se vyplňuje dodavatel komponentu, název komponentu, množství komponentů, alternativní systém, číslo součástky, dodavatel součástky, subdodavatel, cena náhradního dílu, vyměnitelnost, poruchovost, střední dobu opravy, kategorie dovedností, dobu opravy, hodiny údržby, jednotlivé náklady, kategorie poruch, celková poruchovost, náklady na údržbu po poruše, náklady na práci, náklady na materiál, náklady na preventivní údržbu. [3,4]

4.2.3. PM

Jedná se o list, kde se vyplňují údaje o preventivní údržbě, do jednoho řádku se vždy vypisuje jeden typ údržby.

V listě PM najdeme tyto položky na vyplnění název komponentu, počet součástek, cena součástky, číslo úkolu, popis, interval preventivní údržby, čas údržby, dovednost, název součástky, číslo součástky, poznámka, fixní interval, náklady na preventivní údržbu, náklady na práci, náklady na materiál, fixní náklady na preventivní údržbu. [3,4]

UNIFE-UNILIFE		Navigation			
Revision 0		Errorcheck		PREVENTIVE MAINTENANCE	
Project: UNIFE test proj		Errorlist		Total in	Spare Part
Sub-syst. Suppl: Example: Electric				train/project	Price
Equipment: UNIFE test syste...					DEM
Identity: Name					Task
					Number
PM_IDENT		PM_NAME		PM_QTY_TOTAL	PM_PRICE
This row shall not be used for					TASK_NO
3		Power Supply		1	0
3.01.01		A-component		1	1 000
3.01.01		A-component		1	1 000
3.01.02		B-component		1	1 000
SUM					

Obr. 8 – ukázka z listu PM u aplikace UNIFE [3,4]

4.2.4. Maintenance equipment

Seznam nástrojů potřebných pro vybavení údržby.

V tomto listě je uvedena identita nástroje, název nástroje, dodavatel, cena, typ, poznámka, počet v depu, počet v pracovním místě, celkové náklady. [3,4]

4.2.5. Miscellaneous costs

Do tohoto listu se vkládají data ohledně různých nákladů.

List obsahuje náklady na akvizici, náklady na vybavení údržby, náklady na náhradní díly, náklady na školení, náklady na dokumentaci, roční náklady na stavební práce, roční náklady na signalizace, roční náklady na dozor, roční náklady na energie, roční náklady na depo, roční náklady na servisní systémy. [3,4]

4.3. Porovnání obou SW

Obě aplikace vytvořené v programu Excel mají podstatnou část společnou, jako třeba list Global data, výpočty preventivní údržby a údržby po poruše. Ve spoustě věcí se ale liší, například SW od UNIFE je hodně zaměřený na ekonomickou část, pracuje i s inflací, což SW od společnosti Siemens neumí. Aplikace od UNIFE počítá i náklady na vybavení dílny, na školení, na dokumentaci, ale také i na stavební práce a energii. UNIFE má dobře zpracovaný error list a přehlednou navigaci pro přepínání mezi listy v aplikaci vytvořené v Excelu. Ale aplikace Siemens je celkově přehlednější, například v listech PM a CM zadavatel pouze vyplní nutná data a výsledky má pak přehledně v listě Results. Což u druhé aplikace úplně takto není, po zadání dat například do listu PM, zjistím výsledky v tomto listě, dále i v listě Equipment data, CM a také i v listě LCC Results, ale není to tak přehledné jako v aplikaci od Siemens, která i zobrazí 5 nejdražších nákladů na práci a materiál u PM i CM. Aplikace Siemens má provázané náhradní díly s PM i CM a mohou se pak jenom přiřazovat k jednotlivé údržbě či poruše a díl se zobrazí i s cenami.

5. Návrh struktury a funkcionalit modelu LCC

Jedná se o aplikaci vytvořenou v programu Excel na institutu dopravy, která vychází ze dvou aplikací na výpočet LCC a to aplikace od společnosti UNIFE a hlavně z aplikace od společnosti Siemens. Aplikace se skládá z jednoho souboru a několika pracovních listů. Mezi některými listy existují propojení. Dále obsahuje skryté listy, kde jsou výpočty preventivní údržby, údržby po poruše, atd. Obsahuje tyto hlavní listy:

- titulní list – úvodní list, který obsahuje název projektu, identifikaci, volbu jazyka.
- parametry systému - list reprezentující vstupní parametry systému.
- díly - seznam náhradních dílů.
- PM – tento list je používán k záznamům ohledně činností preventivní údržby.
- CM – tento list je používán k záznamům ohledně poruch komponentů a jejich nápravné údržby.
- hodnocení – přehled o výsledcích PÚ, NÚ a dat spolehlivosti.
- hodnocení_grafy – přehled o výsledcích v grafické formě.
- vysvětlivky – vysvětlivky k souboru.

Nejdůležitější listy, které jsou podrobněji popsány: parametry systému, díly, PM, CM, hodnocení.

5.1. Parametry systému

Obsahuje vstupní parametry LCC, jako délka LCC, roční kilometrický proběh, provozní doba vlaku za rok, kilometrický proběh za životní cyklus, hodinovou sazbu, konfiguraci systému, záznamy o revizi, intervaly mimo preventivního údržbového systému.

Dále zde najdeme rozdělení kategorie poruch. Kategorie poruch si lze změnit, ale jsou přednastaveny 4 a to celky SSI, ESI, MSI, FSI.

Je zde dán preventivní údržbový systém, který se též musí nastavit. Jsou zde dány jednotlivé údržbové zásahy a jejich kilometrický proběh. Například denní prohlídka, provozní ošetření, malá periodická prohlídka, vyvazovací periodická oprava, hlavní periodická oprava.

5.2. Díly

Do toho listu se vyplňují náhradní díly, tento list je provázaný s listem PM a CM. Zatím jsou provázány tak, že se daný náhradní díl může vybrat v PM a CM ze seznamu náhradních dílu, ale nic jiného se nezobrazí, jako například cena, proto musím mezi listy přepínat.

V listě díly jsou na vyplnění položky číslo materiálu, popis materiálu, číslo výkresu, rozměry součástky, hmotnost, množství dílů, kategorie materiálu ceny při sériové výrobě, ceny po ukončení sériové výroby, povinné sériové číslo, požadavky na skladování, doporučení pro počáteční stav, minimální skladovatelnost, nebezpečný materiál.

Část obecná				
Pozice	Materiál č.	Popis	Označení části dle výrobce/dodavatele	
	(generický)		Objednávací č.	Výkres č.
D_POZ	D_MAT_CIS	D_MAT_POP	D_MAT_OB_C	D_MAT_OB_VYK
		Stator	CZ LOKO	
		Cívky statoru	CZ LOKO	
		Svorkovnice TM	CZ LOKO	
		Chladicí měch	CZ LOKO	
		Štít u pastorku	CZ LOKO	
		Štít zadní	CZ LOKO	
		Štítové ložisko	SKF	
		Pastorek		
		Tlakové ložisko	SKF	
		Rotor s vinutím	CZ LOKO	
		Držáky kartáčů		
		Kartáče	Karbon	
		Roubíky		

Obr. 9 – ukázka z listu Díly – obecná část

5.3. PM

Do tohoto listu se vkládají veškeré data ohledně preventivní údržby. Jsou zde povinné údaje, bez kterých SW není schopen údržbu spočítat, jako pracnost, kilometrický proběh, atd. Ale také údaje nepovinné, jako různé popisy, které nám mohou práci zjednodušit. Do každého řádku se vždy vypisuje jedna činnost PÚ. Najdu zde nastavení supervizora, jehož nastavení je prioritní, který mění hodnoty pracnosti.

Ke každé činnosti preventivní údržby jsou k vyplnění položky jako systém, komponent, činnost preventivní údržby, příznak výpočtu, množství komponentů na podsystém, podíl na pracovním cyklu, kilometrický proběh, provozní doba, kalendářní čas, jednotlivá aktiva, údržba podle skutečného stavu, výjimka intervalu, pracnost na vozidle, pracnost mimo vozidlo, doporučený počet pracovníků, komentáře, výrobce materiálu, popis, počet materiálu, jednotka materiálu, cena materiálu, speciální pomůcky, nastavení supervizora.

5.4. CM

Do tohoto listu se vkládají, veškeré data ohledně údržby po poruše. Jsou zde povinné údaje, bez kterých SW není schopen údržbu spočítat, jako poruchovost komponentu, střední doba opravy, kilometrický proběh, atd. Ale také údaje nepovinné, jako různé popisy, které mi mohou práci zjednodušit, ale nejsou s výpočtem nijak provázané. Do každého řádku se vždy vypisuje jedna činnost NÚ. Najdu zde nastavení supervizora, jehož nastavení je prioritní, který nastavuje pracnosti, poruchovost a střední dobu opravy.

V listě CM se vyplňují položky systém, komponent, typický příklad poruchy, vliv poruchy na systém, činnost nápravné údržby, příznak výpočtu, množství komponentů na podsystém, podíl na pracovním cyklu, jednotka výskytu, pravděpodobnost poruch podle kategorie následků, MTTR, doporučený počet pracovníků, pracnost na vozidle a mimo vozidlo, komentáře, materiál na výkon, počet materiálu, cena materiálu, speciální pomůcky, sloupce pro uživatele a nastavení supervizora.

5.5. Hodnocení

List s názvem hodnocení obsahuje, náklady na PÚ za rok, materiálové náklady PÚ za rok, náklady na práci PÚ za rok, pracnost PÚ za rok, náklady na údržbu podle technického stavu za rok, materiálové náklady na údržbu podle technického stavu za rok, náklady na práci na údržbu podle technického stavu za rok, pracnost údržby podle technického stavu za rok, náklady na NÚ za rok, materiálové náklady NÚ za rok, náklady na práci NÚ za rok, pracnost NÚ za rok, TOP 5 nákladů u PÚ i NÚ na pracnost a materiál, poruchovost, střední doba opravy, výpočet preventivní údržby na interval.

5.6. Zhodnocení navrženého SW

Hlavní výhodou navrženého SW je uspořádání, přehlednost a funkčnost. Nabízí lehké měnění měn, jazyků, zadávání údržby v čase, tak i v kilometrech. Dále je možnost nastavení supervizora. Velkou výhodou oproti jiným SW je grafické hodnocení, kde jsou přehledně vidět náklady jednotlivé údržby. SW nabízí velký prostor pro zadavatele formou oken pro poznámky a sloupcem pro uživatele. Nedostatek zatím shledávám v provázanosti materiálu s jednotlivými údržbami, že se s materiálem nepřirážují ceny.

6. Ověření funkčnosti navrženého modelu LCC a testování SW řešení

6.1. Ověření funkčnosti navrženého modelu

Při odzkoušení modelu jsem si vymyslel fiktivní hodnoty, které jsem nejdříve vypočítal tabelárně a následně jsem je dosadil do navrženého modelu a výsledky porovnal.

6.1.1. Preventivní údržba

Zvolené hodnoty:

Tab. 1 – zvolené parametry LCC u preventivní údržby

Parametry LCC	Hodnoty
Délka životního cyklu [rok]	30
Roční proběh [km]	100000
Provozní doba vlaku za rok [h]	6000
Proběh během životního cyklu [km]	3000000
Cykly/rok [cykly/rok]	3000
Hodinová sazba [Euro/h]	30

Tab. 2 – zvolené hodnoty pro prvek x a prvek y u preventivní údržby

	Prvek x	Prvek y
Podíl na pracovním cyklu	100	100
Proběh [km]	10000	20000
Pracnost [min]	120	60
Počet pracovníků [-]	2	1
Počet materiálu na výkon [-]	2	1
Cena za jednotku [-]	1	1

6.1.1.1. Tabelární výpočty:

Výpočet preventivní údržby pro prvek x:

Počet zásahů za 30 let:

$$n_{\dot{Z}C} = \left(\frac{l_R \cdot T_{\dot{Z}C}}{l_x} \right) \cdot n_x \quad [-] \quad (1)$$

$$n_{\dot{Z}C} = \left(\frac{100000 \cdot 30}{10000} \right) \cdot 2 = \underline{\underline{600}}$$

$n_{\dot{Z}C}$počet zásahů za životní cyklus [-]

l_Rkilometrický proběh za rok [km]

$T_{\dot{Z}C}$ délka životního cyklu [rok]

l_xkilometrický proběh komponentu x [km]

n_xcelkový počet komponentu x [-]

Za 30 let bude při preventivní prohlídce provedeno 600 zásahů.

Poslední zásah se nepočítá, probíhá likvidace:

$$n_{\dot{Z}Cs} = n_{\dot{Z}C} - 2 \quad [-] \quad (2)$$

$$n_{\dot{Z}Cs} = 600 - 2 = \underline{\underline{598}}$$

$n_{\dot{Z}Cs}$počet zásahů za životní cyklus skutečný [-]

Skutečný počet zásahů při preventivní prohlídce za 30 let bude 598 zásahů.

Pracnost za rok:

$$P_R = \frac{P_V \cdot n_{\dot{Z}C}}{T_{\dot{Z}C}} \quad [\text{Nh/rok}] \quad (3)$$

$$P_R = \frac{120 \cdot 598}{30} = 2392 \text{ Nmin/rok} \Rightarrow P_R = 2392/60 = \underline{\underline{39,86 \text{ Nh/rok}}}$$

P_Rpracnost za rok [Nh/rok]

P_Vpracnost na vozidle [min]

Pracnost za rok při preventivní údržbě je 39,86 Nh/rok.

Náklady na práci:

$$N_P = P_R \cdot N_H \quad [\text{měna/rok}] \quad (4)$$

$$N_p = 39,86 \cdot 30 = \underline{1196 \text{ měna/rok}}$$

N_p ...náklady na práci [měna/rok]

N_H ...hodinová sazba [měna]

Náklady na práci za rok při preventivní údržbě jsou 1196 měna/rok.

Počet kusů materiálu za životní cyklus:

$$n_M = n_{ZC} \cdot n_{MV} \quad [-] \quad (5)$$

$$n_M = 598 \cdot 2 = \underline{1196}$$

n_M ...počet kusů materiálu za životní cyklus [-]

n_{MV} ...počet materiálu na výkon [-]

Za životní cyklus bude potřeba na preventivní údržbu 1196 kusů mat. /živ.cyklus.

Náklady na materiál:

$$N_M = n_{ZC} \cdot N_{KS} \quad [\text{měna}/\text{životní cyklus}] \quad (6)$$

$$N_M = 1196 \cdot 1 = \underline{1196 \text{ měna}/\text{životní cyklus}}$$

N_M ...náklady na materiál [měna]

N_{KS} ...náklady na 1 kus materiálu [měna]

Náklady na materiál za životní cyklus při preventivní údržbě jsou 1196 měna/živ.cyklus.

Náklady na materiál za rok:

$$N_{MR} = \frac{N_M}{T_{ZC}} \quad [\text{měna/rok}] \quad (7)$$

$$N_{MR} = \frac{1196}{30} = \underline{39,86 \text{ měna/rok}}$$

N_{MR} náklady na materiál za rok [měna]

N_M ...náklady na materiál za životní cyklus [měna]

$T_{\text{žC}} \dots$ délka životního cyklu [rok]

Náklady na materiál za rok při preventivní údržbě jsou 39,86 měna/rok.

Výpočet preventivní údržby pro prvek y:

Počet zásahů za 30 let:

$$n_{\text{žC}} = \left(\frac{l_R \cdot T_{\text{žC}}}{l_x} \right) \cdot n_x \quad [-]$$

$$n_{\text{žC}} = \left(\frac{100000 \cdot 30}{20000} \right) \cdot 2 = \underline{\underline{300}}$$

Za 30 let bude při preventivní prohlídce provedeno 300 zásahů.

Poslední zásah se nepočítá, probíhá likvidace

$$n_{\text{žC}} = 300 - 2 = \underline{\underline{298}}$$

Skutečný počet zásahů při preventivní prohlídce za 30 let bude 298 zásahů.

Pracnost za rok:

$$P_R = \frac{P_V \cdot n_{\text{žC}}}{T_{\text{žC}}} \quad [\text{Nh/rok}]$$

$$P_R = \frac{60 \cdot 298}{30} = 596 \text{ Nmin/rok} \Rightarrow P_R = \frac{596}{60} = \underline{\underline{9,93 \text{ Nh/rok}}}$$

Pracnost za rok při preventivní údržbě je 9,93 Nh/rok.

Náklady na práci:

$$N_P = P_R \cdot N_H$$

$$N_P = 9,93 \cdot 30 = \underline{\underline{297,9 \text{ měna/rok}}}$$

Náklady na práci za rok při preventivní údržbě jsou 297,9 měna/rok.

Počet kusů Materiálu za životní cyklus:

$$n_M = n_{\dot{Z}C} \cdot n_{MV}$$

$$n_M = 298 \cdot 1 = \underline{\underline{298}}$$

Za životní cyklus bude potřeba na preventivní údržbu 298 kusů mat. /živ.cykus.

Náklady na materiál:

$$N_M = n_{\dot{Z}C} \cdot N_{KS} \quad [\text{měna/životní cyklus}]$$

$$N_M = 298 \cdot 1 = \underline{\underline{298 \text{ měna/životní cyklus}}}$$

Náklady na materiál za životní cyklus při preventivní údržbě jsou 298 měna/živ.cykus.

Náklady na materiál za rok:

$$N_{MR} = \frac{N_M}{T_{\dot{Z}C}} \quad [\text{měna/rok}]$$

$$N_{MR} = \frac{298}{30} = \underline{\underline{9,93 \text{ měna/rok}}}$$

Náklady na materiál za rok při preventivní údržbě jsou 9,93 měna/rok.

Tab. 3 – *materiálové náklady a náklady na práci pro prvek x a prvek y u preventivní údržby*

	Materiálové náklady [měna/rok]	Náklady na práci [měna/rok]
Prvek x	39,86	1196
Prvek y	9,93	298
Suma	49,79	1494

Celkové náklady na preventivní údržbu za rok:

$$N_{PM} = N_{MRX} + N_{MRY} + N_{PX} + N_{PY} \quad [\text{měna/rok}] \quad (8)$$

$$N_{PM} = 39,68 + 9,93 + 1196 + 298 = \underline{1543,79 \text{ měna/rok}}$$

N_{PM}celkové náklady na preventivní údržbu [měna/rok]

N_{MRX} náklady na materiál za rok u prvku x [měna/rok]

N_{MRY} náklady na materiál za rok u prvku y [měna/rok]

N_{PX} náklady na práci u prvku x [měna/rok]

N_{PY} náklady na práci u prvku y [měna/rok]

Celkové náklady na preventivní údržbu za rok jsou 1543,79 měna/rok.

6.1.1.2. Výsledky z navrženého SW

Po dosazení potřebných hodnot do listů parametry systému a PM jsem dostal výsledné hodnoty preventivní údržby, které byly shrnuty v listě hodnocení.

Parametry systému				Nabídka/Menu		Vysvětlivky/Help	
Projekt:	LCC			Dodavatel podsystému:		Kolovka	
Dodavatel:	CZ Loko			Kod dodavatele subsystému:		kol	
Parametry LCC						Hodnota	Jednotka
Délka životního cyklu (použitá pro kalkulaci):						30	rok
Roční proběh:						100000	km/r
Provozní doba vlaku za rok:						6000	hod
Proběh během život. cyklu						3000000	km
Cykly/rok						3000	Cykly/rok
Hodinová sazba						30	Euro/h

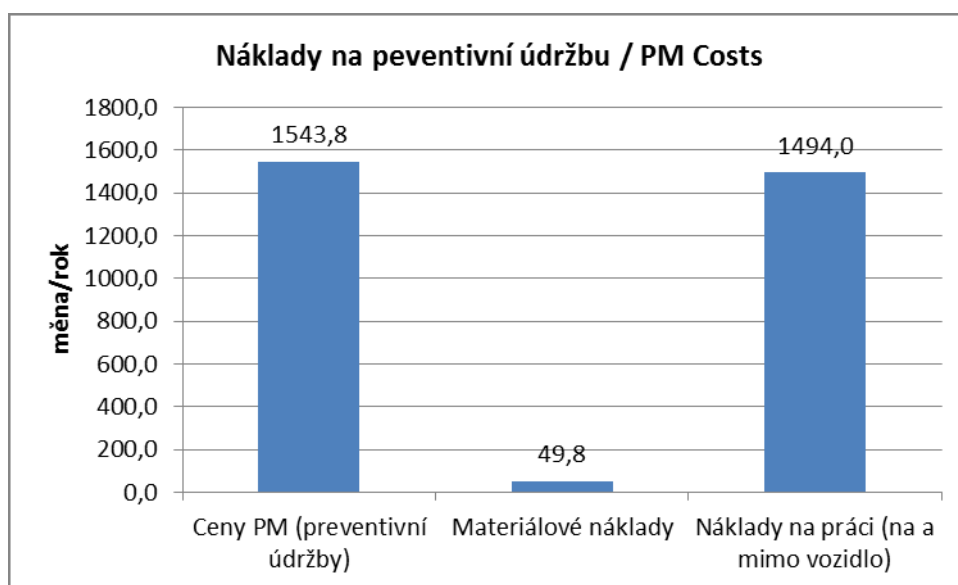
Obr. 10 – dosazené hodnoty v listě Parametry systému

Max. interval údržby						
Podíl na pracovním cyklu	Proběh	Provozní doba	Kalendářní čas	jednotlivá aktivita	Podle skutečného stavu	Výjimka intervalu
	km	hod	den			
PM_IU_PODIL_PC	PM_IU_PROBEH	PM_IU_PROV_D	PM_IU_KAL	PM_IU_AKTIV	PM_IU_PODM	PM_IU_VYJIM
100	10000				A	
100	20000				A	

Obr. 11 – ukázka dosazování hodnot v listě PM

Náklady na preventivní údržbu (PM) za 30 let				Graf	Započítány všechny aktivity během posuzovaného životního cyklu.			
Ceny PM (preventivní údržby)					1543,8	Měna/rok	15438	Měna/10 ⁶ km
Materiálové náklady					49,8	Měna/rok	498	Měna/10 ⁶ km
Náklady na práci (na a mimo vozidlo)					1494,0	Měna/rok	14940	Měna/10 ⁶ km
Pracnost (na a mimo vozidlo)					49,8	Nh/rok	498	Nh/10 ⁶ km

Obr. 12 – výsledky preventivní údržby v listě Hodnocení



Obr. 13 – graf výsledků preventivní údržby v listě Hodnocení_Grafy

6.1.1.3. Porovnání výsledků

Pro zjištění, zda SW počítá správně preventivní údržbu, jsem porovnal tabelární výsledky s výsledky z SW. Mnou vypočítaný výsledek byl 1543,79 a výsledek SW byl 1543,8. Cena preventivní údržby se shoduje.

6.1.2. Údržba po poruše

Zvolené hodnoty:

Tab. 4 – zvolené parametry LCC u údržby po poruše

Parametry LCC	Hodnoty
Délka životního cyklu [rok]	30
Roční proběh [km]	100000
Provozní doba vlaku za rok [h]	6000
Proběh během živ. cyklu [km]	3000000
Cykly/rok [cykly/rok]	3000
Hodinová sazba [Euro/h]	30

Tab. 5 – zvolené hodnoty pro prvek x a prvek y u údržby po poruše

	Prvek x
Podíl na pracovním cyklu [%]	100
Celková poruchovost komponentu [FPMK]	1000
Střední doba opravy [min]	60
Počet materiálu na výkon	2
Cena za 1 kus materiálu	10

6.1.2.1. Tabelární výpočty

Pracnost za rok:

$$P_R = \frac{P_V \cdot n_p \cdot l_R}{10^6} \quad [\text{Nh/rok}] \quad (9)$$

$$P_R = \frac{60 \cdot 2 \cdot 100000}{10^6} = 12 \text{ Nmin/rok} \Rightarrow P_R = \frac{12}{60} = \underline{\underline{0,2 \text{ Nh/rok}}}$$

P_Rpracnost za rok [Nh/rok]

P_Vpracnost na vozidle [min]

n_p počet poruch [-]

l_R kilometrický proběh za rok [km]

Pracnost za rok při údržbě po poruše je 0,2 Nh/rok.

Náklady na práci:

$$N_P = P_R \cdot N_H \quad [\text{měna/rok}] \quad (10)$$

$$N_P = 0,2 \cdot 30 = \underline{6 \text{ měna/rok}}$$

N_Pnáklady na práci [měna/rok]

P_R pracnost za rok [Nh/rok]

N_Hhodinová sazba [měna]

Náklady na práci za rok při údržbě po poruše jsou 6 měna/rok.

Náklady na materiál za rok:

$$N_{MR} = \frac{N_M \cdot l_R \cdot n_P}{10^6} \quad [\text{měna/rok}] \quad (11)$$

$$N_{MR} = \frac{20 \cdot 2 \cdot 100000}{10^6} = \underline{4 \text{ měna/rok}}$$

N_{MR} náklady na materiál za rok [měna]

N_Mnáklady na materiál za zásah [měna]

l_R kilometrický proběh za rok [km]

n_P počet poruch [-]

Náklady na materiál za rok při údržbě po poruše jsou 4 měna/rok.

Celkové náklady na údržbu po poruše:

$$N_{CM} = N_{MR} + N_{NP} \quad [\text{měna/rok}] \quad (12)$$

$$N_{CM} = 4 + 6 = \underline{10 \text{ měna/rok}}$$

N_{CM}celkové náklady na údržbu po poruše

N_{MR} náklady na materiál za rok [měna/rok]

N_P náklady na práci [měna/rok]

Celkové náklady na údržbu po poruše za rok jsou 10 měna/rok.

6.1.2.2. Výsledky z navrženého SW

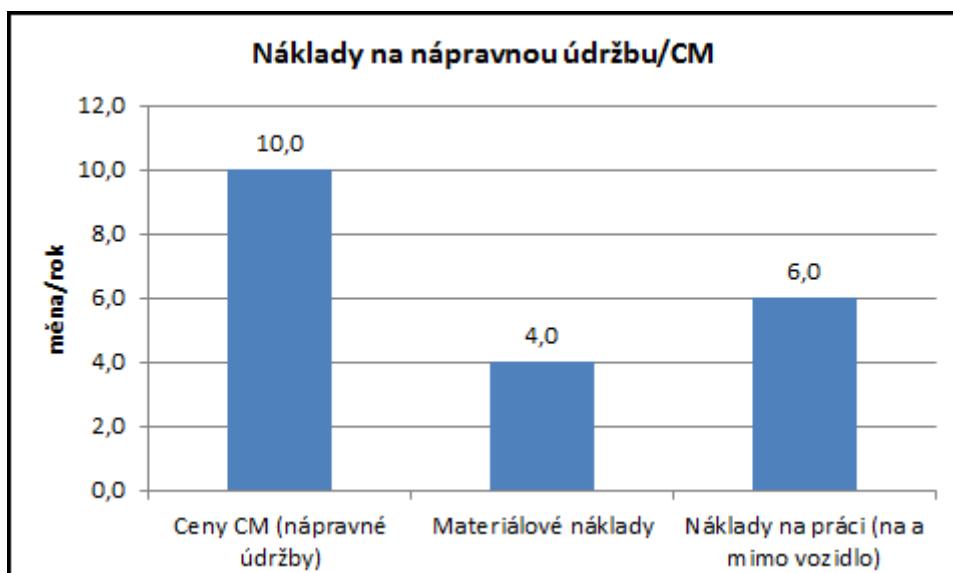
Po dosazení potřebných hodnot do listů parametry systému a CM jsem dostal výsledné hodnoty preventivní údržby, které byly shrnuty v listě hodnocení.

Porucha							Prac
Podíl na pracovním cyklu	Celková poruchovost komponentu	Jednotka výskytu	Pravděpodobnost poruch podle kategorie následků				Stř. doba opravy MTTR [min]
			1 %	2 %	3 %	4 %	
CM_POR_POI	CM_POR_CELK	CM_POR_JED	CM_POR_KAT	CM_POR_KAT	CM_POR_KAT	CM_POR_KAT	CM_PR_MTTR
100	1000	FPMK	50	50			60

Obr. 14 – ukázka dosazování hodnot v listě CM

Náklady na nápravnou údržbu (NÚ)		Graf				
Ceny CM (nápravné údržby)			10,0	Měna/rok	100	Měna/10 ⁶ km
Materiálové náklady			4,0	Měna/rok	40	Měna/10 ⁶ km
Náklady na práci (na a mimo vozidlo)			6,0	Měna/rok	60	Měna/10 ⁶ km
Pracnost (na a mimo vozidlo)			0,2	Nh/rok	2	Nh/10 ⁶ km

Obr. 15 – výsledky údržby po poruše v listě Hodnocení



Obr. 16 – graf Výsledků údržby po poruše v listě Hodnocení_Grafy

6.1.2.3. Porovnání výsledků

Pro zjištění, zda SW počítá správně údržbu po poruše, jsem porovnal tabelární výsledky s výsledky z SW. Mnou vypočítaný výsledek byl 10 a výsledek SW byl 10. Cena údržby po poruše se shoduje.

6.2. Testování SW na konkrétním případě

Po zjištění, že SW pracuje správně, překročíme k testování na konkrétním případě. Testování proběhne na lokomotivě řady 753.6 a přímo se bude dělat pro trakční motor a dvojkolí.

6.2.1. Charakteristika lokomotivy řady 753.6

„Hnací drážní vozidlo řady 753.6 je čtyřnápravová motorová lokomotiva určená pro středně těžkou a těžkou traťovou službu na drahách celostátních, regionálních a vlečkách o rozchodu 1 435 mm. Lokomotiva vznikla modernizací řady 749 – 754 ve firmě CZ LOKO, a.s. Výrobce původní lokomotivy byla továrna ČKD Praha, závod Lokomotivka.

Lokomotiva je konstruována jako skříňová s dvojicí kabin strojvedoucího. Hlavní rám je uložen prostřednictvím osmi pryžokovových opěr na čtyřnápravovém pojezdu, který tvoří dva dvou-nápravové podvozky. Přenos podélných sil z podvozků na hlavní rám a naopak zajišťují dva tažné čepy. Uspořádání dvojkolí v pojezdu je typu B' o B' o. Mezi podvozky jsou uloženy hlavní vzduchojemy a palivová nádrž s prostorem pro akumulátorové baterie. Na koncích hlavního rámu jsou situovány kabiny strojvedoucího. Mezi oběma kabinami je umístěna strojovna s hnacím agregátem a veškerým pomocným zařízením. Strojovna je rozdělena na tři základní části, a to na prostor pomocných pohonů, motorovou strojovnu a blok elektrických rozváděčů.

Hnací agregát je složen ze spalovacího motoru Caterpillar 3512C HD a trakčního alternátoru Siemens 1FC2 631-6B029Z. Tyto stroje jsou spojeny v jeden celek a prostřednictvím společného mezipřevodu pružně uloženy na hlavním rámu lokomotivy. Přenos výkonu od spalovacího motoru na hnací dvojkolí je elektrický, střídavě-stejnosměrný (AC/DC) a tvoří ho trakční alternátor, usměrňovač a čtyři trakční motory. Trakční motor je individuální pro každé dvojkolí, na němž je uložen pomocí tlakových

valivých ložisek. Regulaci výkonu a celé ovládání lokomotivy zajišťuje elektronický řídicí systém MSV elektronika s funkcí automatické regulaci rychlosti (ARR) a automatického vedení vlaku (AVV) s cílovým brzděním. Dosazeny jsou tři systémy vzduchotlakových brzd, střadačová (zajišťovací) brzda a elektrodynamická brzda (EDB). Vzduchotlaková brzda je systému DAKO-GP, pracující v režimu nákladním a osobním. Maximální rychlost lokomotivy je 100 km/h“. [5]



Obr. 17 – Lokomotiva řady 753.6 [5]

6.2.2. LCC pro trakční motor lokomotivy 753.6

6.2.2.1. Charakteristika trakčního motoru TDM 5003V1

„Trakční motor TDM 5003V1 je stejnosměrný sériový motor se čtyřmi hlavními a čtyřmi pomocnými póly. Stator stroje je z ocelolitiny. Hlavní póly jsou z dynamoplechů, pomocné póly z oceli. Rotor stroje je složen z dynamoplechů a je osazen na hřídeli společně s komutátorem. Sběrné ústrojí má čtyři kartáčové držáky, přičemž v každém držáku jsou dva uhlíky. Přístup ke sběrnému ústrojí je možný z horní nebo spodní části stroje otvory s víkem. Motor je pružně zavěšen v rámu podvozku a na nápravě lokomotivy spočívá prostřednictvím dvou tlakových valivých

ložisek. Ložiska rotoru jsou valivá, mazána mazacím tukem. Motor je chlazen vzduchem z cizího ventilátoru. Tyto ventilátory jsou na lokomotivě dva, přičemž každý ventilátor přísluší dvojici trakčních motorů v podvozku. Vzduch je přiváděn vzduchovody v hlavním rámu lokomotivy a pružnými měchy. Oteplený vzduch vystupuje výdechy v kostře motoru.

Hlavní části motoru: stator, cívky statoru, svorkovnice trakčního motoru, chladicí měch, štít u pastorku, štít zadní, štítová ložiska, pastorek, tlapová ložiska, rotor s vinutím, držáky kartáčů, kartáče roubíky“. [5]

6.2.2.2. Obecné údaje

Na lokomotivě se nachází 4 trakční motory TDM 5003V1, ale pro lepší přehlednost zde uvádím výsledky pouze pro jeden trakční motor.

Údaje v tabulce 6 jsou obecné a platí pro preventivní údržbu i pro údržbu po poruše.

Tab. 6 – vstupní parametry LCC pro trakční motor [8]

Parametry LCC	Hodnoty
Délka životního cyklu [rok]	30
Roční proběh [km]	160000
Provozní doba vlaku za rok [h]	6000
Proběh během živ. cyklu [km]	4800000
Cykly/rok [cykly/rok]	3000
Hodinová sazba [Kč/h]	350

6.2.2.3. Preventivní údržba trakčního motoru

U preventivní údržby vycházím hlavně z údržbového plánu výrobce, který má popsané dané úkony preventivní údržby.

V tabulkách jsou vstupní údaje, které musíme do SW zadat.

Některé činnosti se provádí podle skutečného stavu, u preventivní údržby TM to je vyfoukání vnitřních prostor TM, nátěr izolační barvou.

Tab. 7 – činnosti preventivní údržby trakčního motoru [8]

Činnost preventivní údržby [-]	Kilometrický proběh [km]	Kalendářní čas [den]	Pracnost na vozidle [min]	Pracnost mimo vozidlo [min]
vizuální kontrola kompletnosti TM	5000		2	
kontrola průchodnosti výfukových ventilačních otvorů	30000		2	
vyfoukání vnitřních prostor TM	30000		15	
kontrola dotažení průchodek	30000		4	
kontrola ozubení pastorku	320000		10	
měření izolačního stavu za studena u TM	30000	180	6	
doplnění maziva štítových ložisek	50000	360	6	
doplnění maziva tlapových ložisek	75000	360	8	
kontrola stavu (izolátory roubíku, přítlak pružin, stav kartáčů)	30000	180	15	
kontrola stavu komutátoru	30000	360	5	
kontrola celistvosti a neporušenosti pouzdra nápravy	30000	180	3	
vizuální kontrola těsnosti nápravové převodovky	5000	30	2	
nátěr TM izolační barvou	320000			60
kontrola pastorku na opotřebení	680000			15
nastavení neutrální osy TM	680000			30
měření ovality komutátoru	680000			20
kontrola valivých ložisek na vůli	320000			30
záběh TM na zkušebně	680000			180
demontáž a vizuální kontrola rotoru	320000			90
vyčištění vnějších a vnitřních částí TM	320000	180		70

Tab. 8 – materiál potřebný pro preventivní údržbu trakčního motoru [8]

Činnost preventivní údržby [-]	Materiál na výkon [-]	Počet	Jednotka	Cena za jednotku [Kč]
doplnění maziva štítových ložisek	mazivo Gadus S3 V220C 2	0,1	kg	180
doplnění maziva tlapových ložisek	mazivo LGEP 2	0,1	kg	400
nátěr TM izolační barvou	izolační barva	1,2	kg	250

6.2.2.4. údržba po poruše trakčního motoru

V údržbě po poruše bychom měli vycházet z nasbíraných dat o daném typu systému, pokud tyto data nemáme, měli bychom použít data z obdobného typu, který bude fungovat na stejném či podobném principu a bude mít podobnou konstrukci nebo použít expertní odhad.

V tabulkách jsou vstupní údaje, které musíme do SW zadat.

Tab. 9 – *typické příklady poruch trakčního motoru* [8]

Typický příklad poruchy [-]	Celková poruchovost komponentu	Jednotka výskytu	Střední doba opravy [min]	Pracnost na vozidle [min]	Pracnost mimo vozidlo [min]
tlapové ložisko-zadření, horkoběžnost	0,01	FPMK	720	1400	480
štítové ložisko-zadření, horkoběžnost	0,02	FPMK	720	1400	120
sesmeklý pastorek	0,4	FPMK	720	1400	60
vylomený zub pastorku	0,01	FPMK	720	1400	60
přeskok el.oblouku	2	FPMK	720	1400	120
průraz izolace cívky statoru	0,2	FPMK	720	1400	240
zkrat vinutí	0,02	FPMK	720	1400	720
mechanické poškození rotoru s vinutím	0,02	FPMK	720	1400	720
poškození lamel rotoru	1	FPMK	480	480	0
poškození izolace roubíků	0,75	FPMK	240	240	0
poškození držení kartáčů	1	FPMK	120	120	0
poškození kartáče	0,5	FPMK	60	60	0
netěsné průchodky svorkovnice	0,5	FPMK	90	90	0

Tab. 10 – *materiál potřebný pro údržbu po poruše trakčního motoru* [8]

Činnost preventivní údržby [-]	Materiál na výkon [-]	Počet	Jednotka	Cena za jednotku [Kč]
tlapové ložisko - zadření, horkoběžnost	tlapové ložisko	2	ks	12500
štítové ložisko - zadření, horkoběžnost	štítové ložisko	1	ks	7000

vyložený zub pastorku	pastorek	1	ks	30000
přeskok elektrického oblouku	barva	1,5	kg	250
průraz izolace cívký statoru	cívka statoru	1	ks	50000
zkrat vinutí	Set mat. u rotoru s vinutím	1	set	120000
mechanické poškození rotoru s vinutím	Set mat. u rotoru s vinutím	1	set	120000
poškození držení kartáčů	Držák kartáčů	1	ks	8000
poškození kartáče	Kartáč	1	ks	200
netěsné průchodky svorkovnice	Průchodka	1	ks	100

Komponent	Typický příklad poruchy	Pravděpodobnost poruch podle kategorie následků			
		1 %	2 %	3 %	4 %
CM_KOMP	CM_PRIK	CM_POR_KAT	CM_POR_KAT	CM_POR_KAT	CM_POR_KAT
Tlapová lož.	zadření, horkoběžnost	50	50		
Štítová lož.	zadření, horkoběžnost	50	50		
Pastorek	sesmeklý		80	20	
Pastorek	vyložený zub		50	50	
Rotor s vinutím	přeskok el.oblouku		100		
Cívka statoru	průraz izolace		100		
Rotor s vinutím	zkrat vinutí		100		
Rotor s vinutím	mechanické poškození		100		
Rotor s vinutím	poškození lamel rotoru			100	
Roubíky	poškození izol. Roubíků			100	
Kartáče	poškození držení kartáčů			100	
Kartáče	poškození			100	
Svorkovnice	netěsné průchodky svorkovnice			100	

Obr. 18 – Pravděpodobnost poruch podle kategorie následků u trakčního motoru

6.2.2.5. Výsledky preventivní údržby a údržby po poruše

Po zadání hodnot do navrženého SW jsem dostal výsledné hodnoty preventivní údržby a údržby po poruše.

Průměrné náklady na údržbu		13310	Měna/rok	83188	Měna/10 ⁶ km
Náklady na preventivní údržbu (PM) za LCC		Graf			
Ceny PM (preventivní údržby)		4782,4	Měna/rok	29890	Měna/10 ⁶ km
Materiálové náklady		281,0	Měna/rok	1756	Měna/10 ⁶ km
Náklady na práci (na a mimo vozidlo)		4501,4	Měna/rok	28134	Měna/10 ⁶ km
Pracnost (na a mimo vozidlo)		12,9	Nh/rok	80	Nh/10 ⁶ km
z toho náklady na údržbu v závislosti na podmínkách údržby					
Náklady na údržbu podle technického stavu		Graf			
Náklady na údržbu podle technického stavu		767,1	Měna/rok	4794	Měna/10 ⁶ km
Materiálové náklady		140,0	Měna/rok	875	Měna/10 ⁶ km
Náklady na práci (na a mimo vozidlo)		627,1	Měna/rok	3919	Měna/10 ⁶ km
Pracnost (na a mimo vozidlo)		1,8	Nh/rok	11	Nh/10 ⁶ km
Náklady na nápravnou údržbu (NÚ)		Graf			
Ceny CM (nápravné údržby)		8527,6	Měna/rok	53298	Měna/10 ⁶ km
Materiálové náklady		3902,4	Měna/rok	24390	Měna/10 ⁶ km
Náklady na práci (na a mimo vozidlo)		4625,2	Měna/rok	28908	Měna/10 ⁶ km
Pracnost (na a mimo vozidlo)		13,2	Nh/rok	83	Nh/10 ⁶ km

Obr. 19 – náklady na údržbu trakčního motoru

2 PÚ - Top 5 náklady práce/rok:		%
1	TM- vyčištění vnějších a vnitřních částí TM	18,1
2	TM-záběh na zkušebně	10,9
3	TM-vyfoukání vnitřních prostor	10,3
4	Sběrné ústrojí-kontrola stavu(izolátory roub	10,3
5	TM-vizuální kontrola kompletnosti	8,3
2 NÚ - Top 5 náklady práce/rok:		%
1	Rotor s vinutím-přeskok el.oblouku	61,3
2	Pastorek-sesmeklý	11,8
3	Rotor s vinutím-poškození lamel rotoru	9,7
4	Cívka statoru-průraz izolace	6,6
5	Roubíky-poškození izol. Roubíků	3,6

Obr. 20 – nejnákladnější položky na práci u trakčního motoru

PÚ - Top 5 náklady materiál/rok:		%
1	TM-nátěr izolační barvou	49,8
2	Ložiska valivého uložení-doplnění ma	29,9
3	Štítová ložiska-doplnění maziva	20,3
4	TM-vizuální kontrola kompletnosti	0,0
5	TM-kont.průchodnosti výf.vent.otvorů	0,0
NÚ - Top 5 náklady materiál/rok:		%
1	Cívka statoru-průraz izolace	41,0
2	Kartáče-poškození držení kartáčů	32,8
3	Rotor s vinutím-zkrat vinutí	9,8
4	Rotor s vinutím-mechanické poškození	9,8
5	Rotor s vinutím-přeskok el.oblouku	3,1

Obr. 21 – nejnákladnější položky na materiál u trakčního motoru

6.2.3. LCC pro dvojkolí lokomotivy 753.6

6.2.3.1. Charakteristika dvojkolí

Hlavní části dvojkolí: obruč, disk, náprava, ozubené kolo převodu, kryt převodu.

6.2.3.2. Obecné údaje

Na lokomotivě se nachází 4 dvojkolí, ale pro lepší přehlednost zde uvádím výsledky pouze pro jedno dvojkolí.

Údaje v tabulce 11 jsou obecné a platí pro preventivní údržbu i pro údržbu po poruše.

Tab. 11 – vstupní parametry LCC pro dvojkolí [8]

Parametry LCC	Hodnoty
Délka životního cyklu [rok]	30
Roční proběh [km]	160000
Provozní doba vlaku za rok [h]	6000
Proběh během živ. cyklu [km]	4800000
Cykly/rok [cykly/rok]	3000
Hodinová sazba [Kč/h]	350

6.2.3.3. Preventivní údržba dvojkolí

Opět vycházím hlavně z údržbového plánu výrobce, který má popsané dané úkony preventivní údržby.

V tabulkách jsou vstupní údaje, které musíme do SW zadat.

Některé činnosti se provádí podle skutečného stavu, u preventivní údržby dvojkolí to je výměna těsnění převodovky.

Tab. 12 – činnosti preventivní údržby dvojkolí [8]

Činnost preventivní údržby [-]	Kilometrický proběh [km]	Kalendářní čas [den]	Pracnost na vozidle [min]	Pracnost mimo vozidlo [min]
vizuální kontrola-pootočení, sesmeknutí obručí	5000		2	

Vizuální kontrola disku	5000		2	
proměření jízdního obrysu obruče	30000		15	
měření tloušťky obruče	30000		4	
kontrola stavu po vyvázání- rozkolí dvojkolí	320000		10	
defektoskopická kontrola dvojkolí	320000	180	6	
kontrola opěrného kroužku nápravy	320000	360	6	
výměna plstěného těsnícího obložení nápravy	320000	360	8	3650
Výměna těsnění u převodovky	320000	180	15	3650

Tab. 13 – materiál potřebný pro preventivní údržbu dvojkolí [8]

Činnost preventivní údržby [-]	Materiál na výkon [-]	Počet	Jednotka	Cena za jednotku [Kč]
výměna plstěného těsnícího obložení nápravy	těsnění	1	ks	60
Výměna těsnění u převodovky	těsnění	2	m	25

6.2.3.4. Údržba po poruše dvojkolí

V údržbě po poruše bychom měli vycházet z nasbíraných dat o daném typu systému, pokud tyto data nemáme, měli bychom použít data z obdobného typu, který bude fungovat na stejném či podobném principu a bude mít podobnou konstrukci nebo použít expertní odhad.

V tabulkách jsou vstupní údaje, které musíme do SW zadat.

Tab. 14 – typické příklady poruch dvojkolí [8]

Typický příklad poruchy [-]	Celková poruchovost komponentu	Jednotka výskytu	Střední dobu opravy [min]	Pracnost na vozidle [min]	Pracnost mimo vozidlo [min]
jízdní plocha - nevyhovující rozměry u obruče	3	FPMK	60	60	
ploché místa u obruče	3	FPMK	60	60	
minimální tloušťka obruče	1,8	FPMK	720	1400	180

trhliny na disku	0,2	FPMK	720	1400	300
trhliny na nápravě	0,1	FPMK	720	1400	360
trhliny, vylomený zub na ozubeném kolu	0,01	FPMK	720	1400	480

Tab. 15 – materiál potřebný pro údržbu po poruše dvojkolí [8]

Činnost preventivní údržby [-]	Materiál na výkon [-]	Počet	Jednotka	Cena za jednotku [Kč]
minimální tloušťka obruče	Obruč	2	ks	15000
trhliny na disku	Disk	1	ks	20000
trhliny na nápravě	Náprava	1	ks	25000
trhliny, vylomený zub na ozubeném kolu	Ozubené kolo převodu	1	ks	60000

Komponent	Typický příklad poruchy	Pravděpodobnost poruch podle kategorie následků			
		1 %	2 %	3 %	4 %
CM_KOMP	CM_PRIK	CM_POR_KAT	CM_POR_KAT	CM_POR_KAT	CM_POR_KA
obruč	jízdní plocha - rozměry	2		98	
obruč	ploché místa			100	
obruč	min. tloušťka			100	
disk	trhliny	5		95	
náprava	trhliny	5		95	
ozub kolo	trhliny, vylomený zub	5		95	

Obr. 22 – Pravděpodobnost poruch podle kategorie následků u dvojkolí

6.2.3.5. Výsledky preventivní údržby a údržby po poruše u dvojkolí

Po zadání hodnot do navrženého SW jsem dostal výsledné hodnoty preventivní údržby a údržby po poruše.

Průměrné náklady na údržbu		14557	Měna/rok	90979	Měna/10 ⁶ km
Náklady na preventivní údržbu (PM) za LCC	Graf	Započítány všechny aktivity během posuzovaného životního cyklu			
Ceny PM (preventivní údržby)		1291,1	Měna/rok	8069	Měna/10 ⁶ km
Materiálové náklady		51,3	Měna/rok	321	Měna/10 ⁶ km
Náklady na práci (na a mimo vozidlo)		1239,8	Měna/rok	7749	Měna/10 ⁶ km
Pracnost (na a mimo vozidlo)		3,5	Nh/rok	22	Nh/10 ⁶ km
z toho náklady na údržbu v závislosti na podmínkách údržby					
Náklady na údržbu podle technického stavu	Graf				
Náklady na údržbu podle technického stavu		64,2	Měna/rok	401	Měna/10 ⁶ km
Materiálové náklady		23,3	Měna/rok	146	Měna/10 ⁶ km
Náklady na práci (na a mimo vozidlo)		40,8	Měna/rok	255	Měna/10 ⁶ km
Pracnost (na a mimo vozidlo)		0,1	Nh/rok	1	Nh/10 ⁶ km
Náklady na nápravnou údržbu (NÚ)	Graf				
Ceny CM (nápravné údržby)		13265,5	Měna/rok	82910	Měna/10 ⁶ km
Materiálové náklady		9776,0	Měna/rok	61100	Měna/10 ⁶ km
Náklady na práci (na a mimo vozidlo)		3489,5	Měna/rok	21810	Měna/10 ⁶ km
Pracnost (na a mimo vozidlo)		10,0	Nh/rok	62	Nh/10 ⁶ km

Obr. 23 – Náklady na údržbu dvojkolí

2 PÚ - Top 5 náklady práce/rok:		%
1	Obruče-vizuální kontrola -pootočení, se	30,1
2	Obruče-proměření jízdního obrysu	24,9
3	Dvojkolí-defektoskopická kontrola	19,8
4	Disky-vizuální kontrola	15,0
5	Převodovka-Výměna těsnění	3,3
2 NÚ - Top 5 náklady práce/rok:		%
1	obruč-min. tloušťka	76,1
2	disk-trhlíny	9,1
3	obruč-jízdní plocha - rozměry	4,8
4	obruč-ploché místa	4,8
5	náprava-trhlíny	4,7

Obr. 24 – nejnákladnější položky na práci u dvojkolí

PÚ - Top 5 náklady materiál/rok:		%
1	Náprava-výměna plstěného těsnícího	54,6
2	Převodovka-Výměna těsnění	45,5
3	Obruče-vizuální kontrola -pootočení, s	0,0
4	Disky-vizuální kontrola	0,0
5	Obruče-proměření jízdního obrysu	0,0
NÚ - Top 5 náklady materiál/rok:		%
1	obruč-min. tloušťka	88,4
2	disk-trhlíny	6,6
3	náprava-trhlíny	4,1
4	ozub kolo-trhlíny, vylomený zub	1,0
5	obruč-jízdní plocha - rozměry	0,0

Obr. 25 – nejnákladnější položky na materiál u dvojkolí

7. Provozně technické zhodnocení návrhu

Tato diplomová práce se zabývá modelem nákladů životního cyklu, jeho charakteristikou, analýzou vybraných modelů, na jejichž základě vznikl na institutu dopravy model nákladů životního cyklu pro společnost CZ LOKO, a.s. Na fiktivních hodnotách bylo ověřeno, že SW je plně funkční a následně byl model použit na konkrétní motorovou lokomotivu řady 753.6 na částech trakční motor a dvojkolí.

Model LCC nese jisté výhody pro výrobce. Jednak se může díky tomu, že zná náklady na provoz za celý životní cyklus u dané motorové lokomotivy, lépe prosadit na trhu. Dále může model poukázat na části, které mají velkou poruchovost, a výrobce se na ně může zaměřit. Přesně uvidí náklady na preventivní údržbu, pracnost jednotlivých úkonů a poruchovost jednotlivých částí. Problémem ovšem jsou data, která někdy není lehké získat. Hodně záleží na domluvě výrobce s dodavatelem jednotlivých komponentů, zda je dodavatel ochoten veškerá data výrobcí poskytnout. Také sběr dat za celý životní cyklus lokomotivy je složitý, pokud výrobce neposkytuje celoživotní servis. Dnes je na trhu poměrně hodně výrobců kolejových vozidel a protože se na spolehlivost klade velký důraz, je LCC jednou z mála možností, jak může firma na trhu uspět.

Aplikace vytvořená institutem dopravy je připravená k používání, pouze se pracuje na dalších úpravách, které by práci zefektivnily a zjednodušily, například provázání náhradních dílů s preventivní údržbou a údržbou po poruše. Pro každou část lokomotivy, jako je například dvojkolí, se musí zpracovat vlastní soubor vytvořený v programu Excel. Z tohoto důvodu se pracuje na tzv. sjednocovací tabulce, která by měla slučovat náklady na jednotlivé části do jednoho souboru, v kterém by byly celkové náklady na údržbu pro kolejové vozidlo. Všechny součásti by byly uloženy v databázi a do této sjednocovací tabulky by se pouze vkládal typ. Ostatní údaje by se už doplňily samy.

Použitá literatura

- [1] ČSN EN 60300-3-3 (01 0690) Management spolehlivosti – Část 3-3: Pokyny k použití – Analýza nákladů životního cyklu. 2005. 58 s.
- [2] ČSN IEC 50(191) (01 0102) Mezinárodní elektrotechnický slovník – Kapitola 191: Spolehlivost a akost' služieb. 1993.
- [3] UNIFE LCC Group: Guidelines For Life Cycle Costs. Volume I. 1997.[on line]
dostupnost: www.unife.org. 55 s.
- [4] UNIFE LCC Group: Guidelines For Life Cycle Costs. Volume II. 2001.[on line]
dostupnost: www.unife.org. 78 s.
- [5] Materiály firmy CZ LOKO a.s.
- [6] Famfulík, J. Teorie údržby. VŠB-TU Ostrava. 2006, ISBN – 80-248-1029-8.
- [7] Široký, J.: Osobní sdělení. VŠB-TU Ostrava [cit. 2014-4-28]
- [8] Famfulík, J.: Osobní sdělení. VŠB-TU Ostrava [cit. 2014-5-13]

Seznam obrázků

Obr. 1 – Náklady životního cyklu [6]	12
Obr. 2 – Náklady související se spolehlivostí v etapě provozu a údržby [1]	22
Obr. 3 – údržbový systém po poruše [6]	26
Obr. 4 – údržbový systém se zabezpečenou poruchovostí $R(t)$ [6]	27
Obr. 5 – údržbový systém se zabezpečenou poruchovostí $R(t)$, s ohledem na věk prvku [6]	27
Obr. 6 – údržbový systém po prohlídce [6]	28
Obr. 7 – ukázka z listu CM v aplikaci Siemens[7]	32
Obr. 8 – ukázka z listu PM u aplikace UNIFE [3,4]	34
Obr. 9 – ukázka z listu Díly – obecná část	37
Obr. 10 – dosazené hodnoty v listě Parametry systému	45
Obr. 11 – ukázka dosazování hodnot v listě PM	46
Obr. 12 – výsledky preventivní údržby v listě Hodnocení	46
Obr. 13 – graf výsledků preventivní údržby v listě Hodnocení _Grafy	46
Obr. 14 – ukázka dosazování hodnot v listě CM	49
Obr. 15 – výsledky údržby po poruše v listě Hodnocení	49
Obr. 16 – graf Výsledků údržby po poruše v listě Hodnocení _Grafy	49
Obr. 17 – Lokomotiva řady 753.6 [5]	51
Obr. 18 – Pravděpodobnost poruch podle kategorie následků u trakčního motoru	55
Obr. 19 – náklady na údržbu trakčního motoru	56
Obr. 20 – nejnákladnější položky na práci u trakčního motoru	56
Obr. 21 – nejnákladnější položky na materiál u trakčního motoru	56
Obr. 22 – Pravděpodobnost poruch podle kategorie následků u dvojkolí	59
Obr. 23 – Náklady na údržbu dvojkolí	60
Obr. 24 – nejnákladnější položky na práci u dvojkolí	60
Obr. 25 – nejnákladnější položky na materiál u dvojkolí	60

Seznam tabulek

Tab. 1 – zvolené parametry LCC u preventivní údržby	40
Tab. 2 – zvolené hodnoty pro prvek <i>x</i> a prvek <i>y</i> u preventivní údržby	40
Tab. 3 – materiálové náklady a náklady na práci pro prvek <i>x</i> a prvek <i>y</i> u	44
Tab. 4 – zvolené parametry LCC u údržby po poruše	47
Tab. 5 – zvolené hodnoty pro prvek <i>x</i> a prvek <i>y</i> u údržby po poruše	47
Tab. 6 – vstupní parametry LCC pro trakční motor [8]	52
Tab. 7 – činnosti preventivní údržby trakčního motoru [8]	53
Tab. 8 – materiál potřebný pro preventivní údržbu trakčního motoru [8]	53
Tab. 9 – typické příklady poruch trakčního motoru [8]	54
Tab. 10 – materiál potřebný pro údržbu po poruše trakčního motoru [8]	54
Tab. 11 – vstupní parametry LCC pro dvojkolí [8]	57
Tab. 12 – činnosti preventivní údržby dvojkolí [8]	57
Tab. 13 – materiál potřebný pro preventivní údržbu dvojkolí [8]	58
Tab. 14 – typické příklady poruch dvojkolí [8]	58
Tab. 15 – materiál potřebný pro údržbu po poruše dvojkolí [8]	59